

**Puentes construidos por voladizos sucesivos: prefabricación vs IN-SITU**

**Martha Yohana Ariza Rueda**

**Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Estructuras**

**Director:**

**Álvaro Viviescas Jaimes**

**PhD. en Ingeniería de la Construcción**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas**

**Escuela de Ingeniería Civil**

**Especialización en Estructuras**

**Bucaramanga**

**2017**

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Objetivos .....	11
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Alcance .....	12
3. Antecedentes .....	12
3.1 Tipología de puentes .....	15
3.2 Orígenes del sistema .....	20
4. Método por voladizos sucesivos .....	26
5. Construcción de puentes por voladizos sucesivos .....	28
5.1 Voladizos sucesivos fundidos “IN SITU” .....	29
5.1.1 Construcción de la dovela sobre pila o dovela “0” .....	31
5.1.2 Ejecución del tablero.....	34
3.1.2.1 Carros de avance .....	35
3.1.3 Ejecución de dovelas.....	41
5.1.4 Dodela de cierre .....	43
5.1.5 Tesado de cierre .....	44
5.1.6 Aplicación en Colombia .....	45

5.2 Construcción de voladizos sucesivos prefabricados .....	55
5.2.1 Generalidades.....	56
5.2.2 Procedimiento de construcción .....	58
5.2.2.1 Zona de prefabricación .....	58
5.2.2.2 Fabricación de dovelas.....	59
5.2.2.3 Colocación de Dodelas .....	62
6. Ventajas y desventajas de los dos sistemas constructivos. ....	66
7. Posible aplicación del método de dovelas prefabricadas en Colombia. ....	68
8. Conclusiones.....	69
Citas Bibliográficas.....	71
Referencias Bibliográficas .....	74

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Puente Pumarejo sobre el río Magdalena, Barranquilla (1968) .....	13
Figura 2. Puente Juanambú – Vía Panamericana .....	14
Figura 3. Viaducto el Tigre – Cajamarca Colombia .....	17
Figura 4. Puente Flandes – Girón, Santander .....	18
Figura 5. Esquema general de Puente Colgante.....	19
Figura 6. Viaducto Provincial – Bucaramanga Sder.....	20
Figura 7. Puente sobre el estuario de Oosterchelde, Holanda 1964.....	21
Figura 8. Puente de Iznájar, España 1969.....	22
Figura 9. Puente de Castejón, España 1965 .....	22
Figura 10. Puente Pumarejo – Barranquilla.....	23
Figura 11. Puente Juanambú – entre Pasto y Popayán.....	23
Figura 12. Puente la Doctrina – Córdoba.....	24
Figura 13. Puente Plato – Magdalena .....	25
Figura 14. Viaducto Pipiral – Villavicencio .....	25
Figura 15. Puente Yondó – Barrancabermeja .....	26
Figura 16. Puente Guillermo Gaviria Correa – Yondó.....	27
Figura 17. Rango de utilización de procesos constructivos más frecuente en función de su luz.	28
Figura 18. Construcción de la solera o losa inferior .....	32

Figura 19. Construcción de alzados laterales y las riostras transversales.....	33
Figura 20. Ejecución de la losa superior.....	34
Figura 21. Carro de avance.....	35
Figura 22. Montaje de carro de avance.....	36
Figura 23. Carros y Vigas principales.....	36
Figura 24. Vigas de celosía y arriostramiento horizontal.....	37
Figura 25. Armadura de los encofrados.....	37
Figura 26. Montaje estructura de soporte de andamios y pisos de trabajo.....	38
Figura 27. Equipo Hidráulico.....	38
Figura 28. Viaducto Gilberto Borja Navarrete México DF-Tuxpan.....	43
Figura 29. Tesado de Cierre.....	44
Figura 30. Sección Transversal dovela prefabricada.....	57
Figura 31. Dovela en parque de prefabricación.....	58
Figura 32. Proceso de montaje de la viga.....	59
Figura 33. Ejecución del tablero del viaducto de Uztarreta.....	63
Figura 34. Posicionamiento de la Dovela en la cabeza de la pila.....	64
Figura 35. Lanzamiento de la dovela.....	65

## Resumen

**Título:** Puentes construidos por voladizos sucesivos: prefabricación vs in-SITU\*

**Autores:** Martha Yohana Ariza Rueda\*\*

**Palabras Claves:** Voladizos sucesivos, dovelas prefabricadas, hormigón “in situ”, procesos constructivos, viga cajón.

### Descripción:

Hoy en día la construcción de puentes de grandes luces ha llevado a la industria de la construcción a estar en un constante desarrollo en aras de mejorar los tiempos de ejecución, presupuesto y eficacia de las estructuras. Desde que los puentes se han construido por el método de los voladizos sucesivos con hormigonado “In Situ”, la industria ha estado en busca de procesos óptimos e industrializados para mejorar los tiempos de construcción y calidad de las obras. Como consecuencia de esto surgió la idea y aplicación de las dovelas prefabricadas, esta técnica constructiva se inició a finales de la década de los 50 y luego fue aplicado con gran éxito en Francia. Estos dos métodos mencionados anteriormente, tienen sus ventajas y desventajas, las cuales se describirán en el presente escrito. Lo que este documento pretende es estudiar de una manera comparativa las principales características en los dos métodos, prefabricados e in-situ, tanto en proceso de construcción, costo de la obra y beneficios del método a usar, con el fin de determinar el método ideal para cada proyecto y la posible aplicación del prefabricado en Colombia, ya que en nuestro país actualmente se está usando la construcción por el método in-situ.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en estructuras Director: Álvaro Viviescas Jaimes

## Abstract

**Title:** Bridges built by successive cantilevers: prefabrication vs. In-Situ\*

**Author** Martha Yohana Ariza Rueda\*\*

**Keywords** Successive overhangs, prefabricated segments, concrete "in situ", construction processes, box beam.

### Description:

Today, the construction of large span bridges has led the construction industry to be in constant development in order to improve the execution times, budget and efficiency of structures. Since the bridges have been built by the method of successive overhangs with "in situ" concreting, the industry has been looking for optimal and industrialized processes to improve the construction times and quality of the works. As a result of this, the idea and application of prefabricated segments emerged, this construction technique was initiated in the late 1950s and then applied with great success in France. These two methods mentioned above have their advantages and disadvantages, which will be described in this brief. The purpose of this document is to study in a comparative way the main characteristics of the two methods, prefabricated and in-situ, both in the construction process, cost of the work and benefits of the method to be used, in order to determine the ideal method for each project and the possible application of prefabricated in Colombia, since in our country construction is currently being used by the in-situ method.

---

\* Project of grade

\*\* faculty of Engineering Physical mechanical. School of Engineering Civil. Specialization In Structural Director: Álvaro Viviescas Jaimes

## Introducción

La necesidad de avanzar con la tecnología y hacer que cada día vaya en auge el comercio, turismo y necesidades del ser humano, nos ha conllevado a progresar en cuanto a vías, con el fin de lograr conexiones con otras ciudades en menos tiempo y con más seguridad. La necesidad de crear más vías sin afectar las actuales ni a la movilidad, ha hecho necesario realizar grandes obras de infraestructura en corto tiempo, usando nuevos materiales, diseños y métodos constructivos, como lo es el prefabricado.

La forma en que se concibe que va a trabajar la estructura, los diferentes elementos estructurales y el sistema o proceso constructivo dan como resultado la tipología de puentes existentes. Existen, por ejemplo, los puentes de vigas rectangulares de concreto reforzado, puentes de vigas postensadas, puentes de sección cajón, puentes en arco, puentes atirantados, entre otros. Cada uno de ellos muestra una complejidad diferente durante su concepción, cálculo estructural y su proceso constructivo.

Debido a las condiciones topográficas de Colombia, con el paso del tiempo se ha consolidado la solución en viga cajón construido por avance en voladizos sucesivos fundidos u hormigonado “in situ” como la técnica dominante para la ejecución de puentes de luces medias y grandes.

Para el caso de puentes viga cajón en concreto existen varios métodos constructivos. En este escrito se describirán en detalle la construcción de puentes por el sistema de dovelas sucesivas “in situ” Vs prefabricados y se diagnosticará la posible aplicación al caso colombiano de la técnica de las dovelas prefabricadas.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de las principales ventajas y/o desventajas de la técnica de construcción por voladizos sucesivos a partir de la literatura.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Clasificar la información existente en la literatura científica sobre las técnicas modernas para la construcción de puentes en concreto por voladizos sucesivos, según su campo de aplicación.
- Detallar los dos métodos de construcción por voladizos: prefabricados vs in-situ y generar una base de datos con ilustración y fichas resumen de puentes construidos mediante el método de voladizos sucesivos.
- Identificar las principales ventajas y/o desventajas de cada uno de los métodos.
- Diagnosticar la posible aplicación del método de dovelas prefabricadas para su aplicación en Colombia.

## 2. Alcance

Este trabajo se enfoca al estudio de la construcción de puentes en voladizo sucesivo, estableciendo ventajas y desventajas de los métodos constructivos entre la prefabricación vs in situ, no se generarán modelamientos numéricos ni cálculos de los puentes mencionados, se basa en un análisis crítico a partir de la literatura científica disponible.

## 3. Antecedentes

La construcción de puentes en Colombia durante la segunda mitad del siglo XIX se llevó a cabo mediante una mezcla de tradiciones artesanales que tiene sus raíces en la construcción prehispánica e involucran el trenzado de fibras vegetales utilizadas para la construcción de puentes colgantes.[1] Por su parte, los sistemas industrializados fueron poco a poco introduciéndose al país de la mano de fabricantes extranjeros, que vendían sus estructuras metálicas por todo el mundo a través de catálogos y buscaban siempre adaptarse a las más complejas condiciones locales. A través del estudio de la ingeniería colombiana de este período y sus logros constructivos, se intenta demostrar esta condición. [1]

La implementación del sistema de voladizos sucesivos en Colombia se inicia a partir de los años 70' con la construcción del puente sobre el río Magdalena. El puente Pumarejo, ver figura 1

(denominado así en honor de su gestor político Alberto Pumarejo) fue diseñado por el profesor italiano Ricardo Morandi. La longitud de orilla a orilla es de 1.500 metros e incluyendo las vías de acceso la obra contemplaba 3.383 m de longitud. Los pilotes alcanzan profundidades hasta de 30 m sobre el lecho del río y fueron construidos en concreto armado con un promedio de 1.80 m de diámetro. En total, el puente se sostiene sobre 56 columnas que forman 29 tramos de luces en vigas prefabricadas de 47 metros; una luz mayor de 140 m y dos adyacentes de 70 m conformadas por vigas cajón que se soportan sobre cuatro apoyos rígidos (las columnas) y cuatro apoyos elásticos (los extremos de los tirantes recubiertos de concreto). Las columnas mayores son de 5 metros y las menores de 2.5 metros de diámetro. El ancho de la calzada es de 12.5 m, y la altura máxima sobre el nivel de las aguas del canal de navegación es de 16 metros. [4]



*Figura 1.* Puente Pumarejo sobre el río Magdalena, Barranquilla (1968)

Nota. Adaptado de: (Historias del Magdalena, 2016)

El primer viaducto construido en Colombia (1974) por el sistema de voladizos sucesivos y que recibió Premio Nacional de Ingeniería, es el puente sobre el río Juanambú, ver figura 2, que es

parte de la vía panamericana entre las ciudades de Pasto y Popayán, este puente tiene 4 luces (3 pilares). En la figura 2, se ilustra el puente, el cual consta de una luz principal de 90 m que está soportada sobre dos pilares de sección constante de 5m x 3m. El segundo pórtico central (45m de luz) comparte un pilar con la luz central y se apoya sobre uno más esbelto y pequeño (23m). La cimentación se llevó a cabo sobre zapatas directas 15 m x 9 m apoyada sobre roca en una margen y sobre andesita en la otra. [5]



*Figura 2.* Puente Juanambú – Vía Panamericana

Nota. Adaptado de: (360 grados Blog, s.f.)

En Colombia se construyeron puentes importantes en los años 90' 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, anexo 1.

Para los años 2001 y 2004, se construyen el viaducto de Pipiral de la Carretera Bogotá-Villavicencio y el puente Guillermo Gaviria Correa sobre el río Magdalena. Éste, con su luz central de 200 metros, se convierte a la fecha en el puente en voladizos sucesivos con la luz más grande construida en el país. Para el año 2008 se inician los grandes proyectos de infraestructura en el país, comienza en Colombia el auge de la construcción de voladizos sucesivos muy adecuada para la topografía colombiana. Se destacan los construidos sobre el corredor Bogotá – Buenaventura, la Ruta del Sol sector 1, doble calzada Bogotá Villavicencio y las vías para los grandes proyectos de infraestructura energética en el país como Hidrosogamoso etc. [5]

### 3.1 Tipología de puentes

Los puentes se pueden clasificar en diferentes tipos, de acuerdo a diversos conceptos como:

#### **La naturaleza de la vía que soporta**

- Puentes de carretera
- Puentes de ferrocarril
- Puentes de canal
- Puentes de acueducto

#### **El material constitutivo**

- Madera: Este tipo de puentes fue ampliamente usado en el pasado, hoy en día su uso es escaso, aunque son una solución de interés para zonas apartadas y con escasa capacidad económica [19]. La gran ventaja de estos puentes es la reducción de costos y mano de obra, si ambas se encuentran donde se construye este tipo de puente. La desventaja de estos

puentes siempre ha sido la durabilidad; generalmente se les ha dado carácter de obra provisional. [20]

- Concreto: Los puentes de concreto pueden ser construidos en concreto reforzado o preesforzado o una combinación de estos. En los puentes de concreto reforzado el tablero y las vigas son construidos en concreto reforzado. Los puentes en concreto preesforzado para luces cortas generalmente presentan un tablero en concreto reforzado soportado por vigas preesforzadas en I o tipo cajón. En algunas ocasiones, la losa superior del cajón puede hacer las veces de tablero eliminando la necesidad del tablero reforzado. El concreto reforzado es particularmente apropiado para utilizar en puentes de toda clase por su durabilidad, rigidez y economía, para luces cortas, de aproximadamente 3 a 10m, los puentes conformados por losas armadas en una dirección son económicas; para luces un poco más largas hasta 25m pueden utilizarse vigas de concreto vaciadas en el sitio o prefabricadas. Para alcanzar luces mayores, de hasta 40m, se opta por utilizar vigas preesforzadas, que en nuestro medio generalmente son postensadas. Este tipo de puente puede ser de una luz o varias luces. [19]
- Metálico: Este tipo de puentes constan de un tablero en concreto reforzado y vigas o armaduras en acero llamados también puentes compuestos de viga y losa. Para estructuras de grandes luces como puentes atirantados y suspendidos es posible encontrar que la superestructura está construida totalmente en acero, con lo cual se busca disminuir el peso propio de la estructura. En Colombia, el uso de vigas metálicas con funcionamiento en sección compuesta con el tablero en concreto reforzado, es amplio, y se usan para manejar luces de hasta 60m. Se utilizan vigas metálicas ensambladas, conformadas generalmente por almas y patines superiores e inferiores con láminas de acero. [19]

**Comportamiento estructural**

- Puentes rectos o de vigas: Los puentes rectos están constituidos por una estructura de viga o losa continua, se emplean vigas en forma de “I”, sección cajón, etc., también se emplean vanos cortos e intermedios (ver figura 3). Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares. Mientras que la fuerza que se transmite a través de los pilares es vertical y hacia abajo y, por lo tanto, estos se ven sometidos a esfuerzos de compresión, los elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan. El esfuerzo de flexión supone una compresión en la zona superior de las vigas y una tracción en la interior.

Los puentes construidos con vigas de concreto reforzado pueden salvar tramos de 20 a 25 m; para distancias mayores se usa el acero y concreto pretensado y, cuando la longitud es considerable las vigas son compuestas. [21]



*Figura 3.* Viaducto el Tigre – Cajamarca Colombia

Nota. Adaptado de: (Silcarsa, s.f.)/

- Puentes de arco: Es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura en forma de arco con la que se transmiten las cargas a los estribos (ver figura 4). Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Se transmiten unas reacciones horizontales a los apoyos y, en consecuencia, el terreno de cimentación debe resistir los esfuerzos. Es una tipología competitiva para un rango de luces de 60 a 200 metros. [21]



Figura 4. Puente Flandes – Girón, Santander

Nota. Adaptado de:<http://bersoa2a.blogspot.com.co/>

- Puentes Colgantes: Es un puente sostenido por un arco invertido (antifunicular) formado por numerosos cables de acero del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales (ver figura 5). El comportamiento del puente colgante es igual que el arco, una estructura que resiste gracias a su forma; en este caso salva una determinada luz mediante un mecanismo resistente que funciona exclusivamente a tracción, evitando gracias a su flexibilidad, que aparezcan flexiones en él. Las fuerzas principales en un puente colgante

son de tracción en los cables principales y de compresión en los pilares. Todas las fuerzas en los pilares deben ser casi verticales y hacia abajo, y son estabilizadas por los cables principales. Su utilización en competitividad para luces mayores a 1000 metros [20]. Un ejemplo de esta tipología en Colombia es el puente Doménico Parma sobre el río Chinchiná (1986) en el departamento de Caldas, con una luz máxima de 125 m, longitud total de 250 m y al cual le fue otorgado el premio “Excelencia en Concreto 1990”. [22]

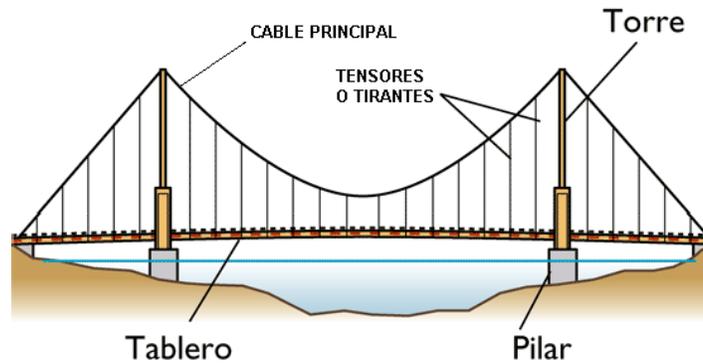


Figura 5. Esquema general de Puente Colgante

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

- Puentes atirantados: Los elementos fundamentales de la estructura resistente del puente atirantado son los tirantes, que son cables rectos que atirantan el tablero, proporcionándoles una serie de apoyos intermedios más o menos rígidos. Pero no solo ellos forman la estructura resistente básica del puente atirantado; son necesarias las torres para elevar el anclaje fijo de los tirantes, de forma que introduzcan fuerzas verticales en el tablero para crear los pseudos-apoyos; también el tablero interviene, porque los tirantes, al ser inclinados, introducen fuerzas horizontales que generalmente se equilibran en el propio tablero porque su resultante, igual que en la torre debe ser nula. Por todo lo anterior, los tres

elementos, tirante, torre y tablero, constituyen la estructura resistente básica del puente atirantado [21]. Un ejemplo de esta tipología de puentes en Colombia es el puente Gilberto Echeverr  Mejía (2012). Ubicado en la ciudad de Medellín, con una luz máxima de 108 m y longitud total de 560 m. Otro ícono de esta tipología lo es el Viaducto Provincial de la ciudad de Bucaramanga (Figura 6).



*Figura 6.* Viaducto Provincial – Bucaramanga Sder.

### **3.2 Orígenes del sistema**

La construcción de puentes por el sistema de voladizos sucesivos se encuentra relacionada directamente con las estructuras de grandes luces esta condición a su vez está basada en las características funcionales, topográficas y económicas que determinan la necesidad de una gran luz.

**A nivel mundial:**

- En 1930 en el sur de Brasil, el puente Río doPeixe con una luz de 60 metros.
- En 1950 en Alemania, el puente de Balduinstein, sobre el lahn, con 62.10 metros de luz.
- En 1958 el puente ruso de kranoholoski, sobre el Moscowa, se da el uso de prefabricado, este puente consiguió el record en tramos rectos con sus 148 metros de vano central.
- En 1962 en España, el puente de Almodóvar el cual consta de tres vanos, dos de 35 metros laterales y uno central de 75 metros.
- En 1964 en Francia para el puente Choisy-le-Roy, con dos luces de 3750 metros y uno de 55 metros. En Holanda se utilizó en el puente Ooesterchelde, con luces de 80.50 y 112.50 metros.



*Figura 7.* Puente sobre el estuario de Oosterchelde, Holanda 1964

Nota: Adaptado de: (Prezi, s.f.)



*Figura 8.* Puente de Iznájar, España 1969

Nota: Adaptado de: (Prezi, s.f.)



*Figura 9.* Puente de Castejón, España 1965

Nota: Adaptado de: (Prezi, s.f.)

### **En Colombia:**

En el año de 1974, el puente Pumarejo (figura 7), sobre el río Magdalena en Barranquilla que la comunica con Santa Marta, es el más largo del país con una longitud de 1498 metros, cuyo tramo principal consiste en una luz central de 140 metros con dos luces laterales de 69.50 metros.



Figura 10. Puente Pumarejo – Barranquilla

Nota. Adaptado de. (360 Grados blog, s.f.)

En 1976, el puente sobre el río Juanambú, ver figura 8, es la primera obra realizada completamente por ingeniería colombiana. Cuenta con tres luces de 45, 90 y 45 metros, confirmado por un pórtico con sus dos pilas principales de altura cercanas a los 60 metros.



Figura 11. Puente Juanambú – entre Pasto y Popayán

Nota. Adaptado de. (360 Grados blog, s.f.)

En 1983, la construcción del puente la Doctrina sobre el río Sinú, en la carretera Lorica – San Bernardo, consta de tres luces de 41.80 - 83.60 y 41.80 metros.



*Figura 12.* Puente la Doctrina – Córdoba

Nota. Adaptado de: <http://mapio.net/s/23439213/>

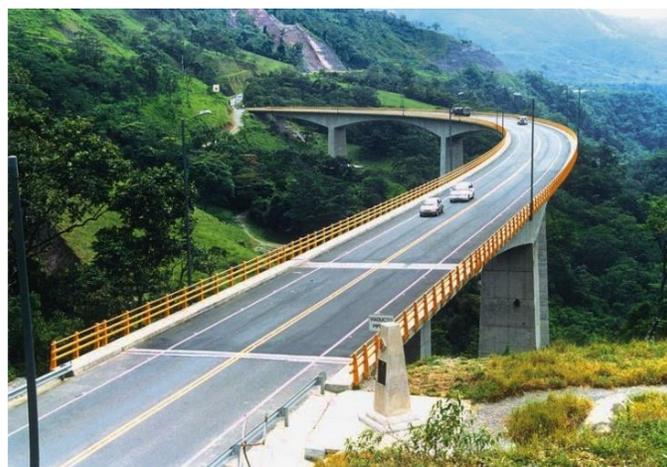
En los años 90' se difundió con gran fuerza en Colombia, como lo es el puente sobre el río Farallones que tiene una luz central de 142 metros, y los puentes de plato y Puerto Arturo que recurrieron a la técnica de voladizos con luces múltiples superiores a los 110 metros.



*Figura 13.* Puente Plato – Magdalena

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

En el 2002 se dieron al servicio dos importantes estructuras en la carretera Bogotá – Villavicencio como lo son el puente de Servitá con 155 metros de luz central y el puente de Pipiral que con cuatro luces de 125 metros continuas y en curva se constituye en una de las obras más sobresalientes de la ingeniería nacional.



*Figura 14.* Viaducto Pipiral – Villavicencio

Nota. Adaptado de: (Con Civiles, s.f.)

En el año 2006 culminó la construcción del puente sobre el río Magdalena, entre Barrancabermeja y Yondó, en el sitio conocido como Estrecho Galán. Es una estructura de 920 metros de longitud con un puente principal de 200 metros de luz central, siendo record nacional construido por voladizos sucesivos con dovelas fundidas in situ.



*Figura 15.* Puente Yondó – Barrancabermeja

Nota. Adaptado de: (ABC Economía, 2014)

#### **4. Método por voladizos sucesivos**

El método por voladizos sucesivos se utiliza cuando es preciso salvar grandes luces, cuando no es posible disponer de pilas intermedias, cuando se trata de salvar un curso de agua, o en zonas montañosas de gran altura. Este procedimiento resulta igualmente válido para otra tipología de puentes como lo son los puentes rectos, en arco y atirantados. Este método consiste en la

construcción progresiva de los vanos a partir de un punto fijo, que suele ser la pila y a partir de ella, se va construyendo en forma de “T” mediante voladizos a ambos lados de la pila.



*Figura 16.* Puente Guillermo Gaviria Correa – Yondó

Nota. Adaptado de: (León García, s.f.)

Esta técnica resulta válida tanto para puentes fundidos “in situ” como para puentes que utilizan dovelas de hormigón prefabricadas. Se describirán las técnicas de construcción para el hormigonado “in situ” y las técnicas de la prefabricación. Posteriormente se detallarán las diferencias entre ambas, así como las principales ventajas y desventajas.

### 5. Construcción de puentes por voladizos sucesivos

La construcción de puentes por el método de voladizos sucesivos se encuentra relacionada directamente con los puentes de grandes luces y esta condición está a su vez asentada en las características funcionales, topográficas y económicas que determina la necesidad de una gran luz, así como el obstáculo o el gran costo de disponer pilas intermedias dentro de un gran curso de agua o en zonas montañosas de gran altura. [6]

La influencia del proceso o técnica de construcción en el cálculo de estas estructuras es fundamental, tal es la importancia de que dicho procedimiento sea sencillo, además de económico, que los puentes en general pueden clasificarse en función de dichos procedimientos y según su luz de diseño como lo indica la figura 14.

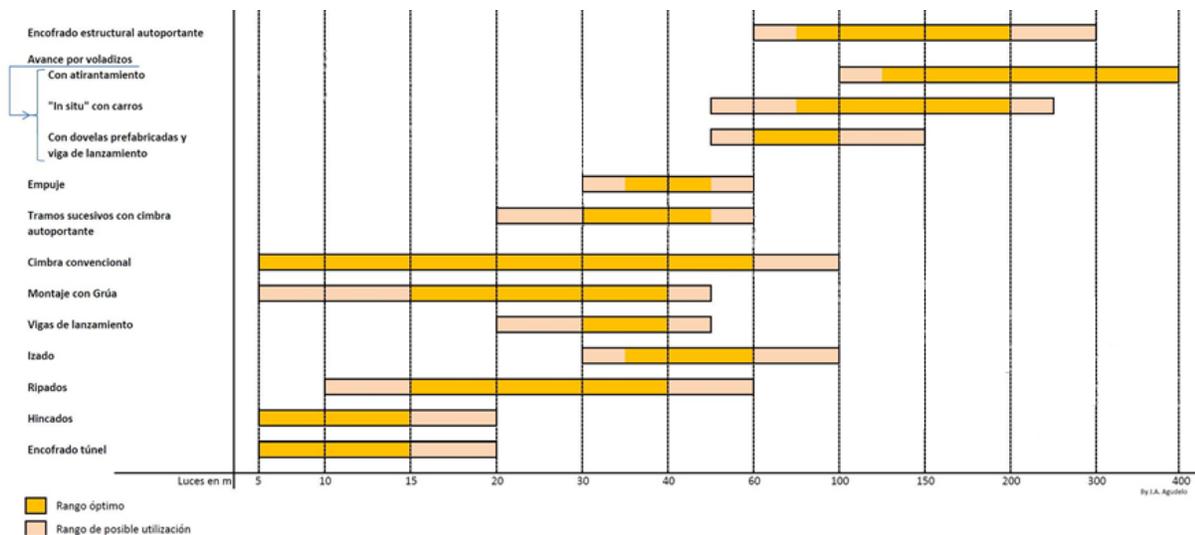


Figura 17. Rango de utilización de procesos constructivos más frecuente en función de su luz.

Nota. Adaptado de: (Estructurando, 2012)

Es posible correlacionar el sistema constructivo con la luz principal que maneje el proyecto, a través del tipo estructural que mejor se acomoda para cada rango de luz. Para los autores Percivati y Colombo (2006) las luces que se utilizan para voladizos sucesivos tanto para in situ como para Prefabricados varía entre 110m y 200m.

En cambio, para los autores Pérez y Herrero (1995), el rango de luces para puentes construidos “in situ” mediante voladizos sucesivos, es de 125m a 175 m, para que sea económico y óptimo. Y para que los viaductos de dovelas prefabricadas compitan con los fundidos “in situ”, el rango de luces debe ser entre 60m y 130m.

### **5.1 Voladizos sucesivos fundidos “IN SITU”**

Este sistema de construcción se inicia después de la Guerra Mundial con el objetivo de reconstruir los puentes destruidos durante la guerra. Se considera que el rango óptimo desde el punto de vista económico se encuentra en una luz comprendida entre 125 y 175 metros. El sistema fue iniciado en Alemania en 1950 con el Puente de Lahn y después, para grandes luces, con el puente de Bendorf. [8]

Se puede definir el sistema constructivo “in situ” como la ejecución de la estructura vertiendo el concreto fresco sobre un encofrado que aloja las armaduras, activas o pasivas, que han sido previamente dispuestas. Es el método constructivo de estructuras de hormigón más antiguo. Desde el punto de vista de la ejecución de un puente, no siempre es aplicable, teniendo en cuenta los requerimientos de apuntalamiento del encofrado (cimbra) que dependen del emplazamiento y de la geometría del puente. Hoy en día se cuenta con sistemas de encofrados y cimbras metálicos que

permiten lograr notables reducciones en los tiempos de montaje y amortización de los equipos al posibilitarse reutilizaciones de los mismos.

El sistema constructivo por voladizos sucesivos con dovelas hormigonadas “in situ” consiste en la construcción simétrica equilibrada, a un lado y otro de cada pila, de tramos de tablero. El tablero se subdivide en dovelas cuya longitud oscila entre 3 m y 5 m que se van construyendo una a continuación de otra. De esta manera los voladizos van aumentando y se ayudan de cimbras metálicas que encuentran su apoyo en la parte del tablero ya construida.

Para construir las dovelas se utilizan como medio auxiliar carros de avance que se apoyan en la parte que ya está construida. Hormigonando las dovelas sucesivamente sobre los carros, se va avanzando en forma de “T” desde las pilas hacia el centro de cada vano, conectando allí con el voladizo anterior mediante una dovela clave. Una vez terminados los voladizos de una pila, se pasa a la pila siguiente y se repite todo el proceso descrito.

Al inicio de cada voladizo hay que construir la primera dovela sobre la parte superior de la pila. Esta dovela, conocida como dovela 0 o dovela de pila, se construye con un encofrado convencional montado sobre la pila, y ha de tener la longitud suficiente para que se puedan montar los carros de avance sobre ella. A partir de esta dovela, la construcción se continúa con los carros de avance que cuelgan el encofrado para la siguiente dovela de la parte ya construida. El hormigonado se hace de tal forma que no se presente más del peso de una dovela como carga desequilibrada a cada lado de la pila.

Las operaciones básicas del ciclo en el proceso constructivo del hormigonado in situ se puede resumir de en las siguientes actividades:

- Avance del carro.
- Colocación del encofrado exterior en sus coordenadas.

- Avance y colocación del encofrado interior en sus coordenadas.
- Colocación de los refuerzos (activos y pasivos) de la sección.
- Comprobación y ajustes topográficos de coordenadas.
- Fundida de la dovela.
- Desencofrado de la dovela y tesado de cables del proceso constructivo de la dovela e inyección.
- Curado del concreto.

Descripción de las etapas operacionales en la construcción de dovelas por voladizos sucesivos:

**5.1.1 Construcción de la dovela sobre pila o dovela “0”** La ejecución o construcción de la dovela 0 puede descomponer en tres fases:

- **Fase 1:** Consiste en la construcción de la solera o losa inferior de la sección, ésta, se descompone en las siguientes operaciones: instalación de la plataforma de soporte de los encofrados de la dovela 0 incluyendo el montaje del encofrado inferior de la losa, montaje de los encofrados laterales de los alzados de la losa, acero de refuerzo de la losa y hormigonado.



*Figura 18.* Construcción de la solera o losa inferior

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

- **Fase 2:** Esta etapa comprende la ejecución de los alzados laterales y las riostras transversales. Dado que en la fase 1, ya se tiene encofrada la parte exterior, las acciones a realizar son: acero de refuerzo de los tabiques y alzados laterales de la sección, encofrados interiores, hormigonado y retirada de los encofrados interiores.



*Figura 19.* Construcción de alzados laterales y las riostras transversales

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

- **Fase 3:** La tercera fase de la ejecución de la dovela 0 consiste en la realización de la losa superior. Las operaciones a realizar en esta fase son: apuntalamiento interior de la losa superior, colocación del encofrado interior sobre dicho apuntalamiento, acero de refuerzo de la losa y hormigonado, desencofrado y retirada del sistema de sustentación del encofrado.



*Figura 20.* Ejecución de la losa superior

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

**5.1.2 Ejecución del tablero** A medida que se van hormigonando parejas de dovelas, se van incorporando el pretensado de los voladizos, llamado también pretensado isostático porque se introduce en un esquema estructural isostático. Este pretensado está constituido por uno o más cables para cada alma, y va anclado en las esquinas superiores de la sección transversal. A estas esquinas se las coloca cartelas para disponer de espacio suficiente para los anclajes. El hormigón o concreto debe tener una determinada resistencia antes de poner en carga los anclajes.

Existen 3 formas para la construcción de tableros en avance en voladizo, el carro de avance, el uso de vigas autolanzables, y el carro de avance modificado, es decir, avance en voladizo por un solo lado. Una de las formas más usadas en Colombia son los carros de avance.

*3.1.2.1 Carros de avance*



*Figura 21. Carro de avance*

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

El carro de avance es el más común de todos los medios para construir tableros en voladizo sucesivo. Y aunque se encuentran algunas modificaciones en su uso, por lo general el principio de funcionamiento y operación es el mismo. Un carro funciona como avance del puente, es el punto de trabajo de los operarios, puede trasladar las dovelas y colocarlas o directamente llevan encofrados con los que van haciendo las dovelas “in situ”. [9]

**MONTAJE DE UN CARRO DE AVANCE**

**Calces de carril y carril.** estos se ubican sobre la dovela construida, es decir la dovela de apoyo.



*Figura 22.* Montaje de carro de avance

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

**Carros y viga principales en rombo.** Segundo conjunto a acoplar, formado por dos vigas de celosía de forma romboidal que se trasladan sobre las vigas carril. [7]



*Figura 23.* Carros y Vigas principales

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

**Vigas de celosía y arriostramiento horizontal.** El montaje de las vigas de celosía se realiza igualmente por módulos lo más grandes posibles, sin limitar la capacidad de elevación de la grúa torre. [7]



*Figura 24.* Vigas de celosía y arriostramiento horizontal

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

**Armadura de los encofrados.** Según sus características se puede ejecutar un pre montaje en el suelo de la armadura del encofrado inferior, e izar posteriormente con torre grúa.



*Figura 25.* Armadura de los encofrados

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

**Montaje estructura de soporte de andamios y pisos de trabajo**



*Figura 26.* Montaje estructura de soporte de andamios y pisos de trabajo

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

**Equipo hidráulico.** Se dispone de gatos verticales de grandes prestaciones para bloqueo mecánico.



*Figura 27.* Equipo Hidráulico

Nota. Adaptado de: (360 Grados en concreto, s.f.)

El uso de los carros de avance se inicia apenas finaliza la construcción de la dovela 0. A partir de ese momento se puede elevar uno de los carros de avance para su posterior montaje y utilización en la construcción de la dovela 1 que, una vez finalizada, sirve para desplazar el primer carro sobre ella y, así se puede liberar la cabeza de la pila para que pueda recibir al segundo carro. Tras el proceso de montaje del segundo carro, se puede iniciar la construcción de las diversas dovelas de forma simétrica y en sentidos opuestos a partir de la pila. [8]

Una vez hecho el montaje de los carros de avance, se deben hacer unas revisiones periódicas en el movimiento de los carros, lo cual debe realizarse a lo largo de todo el ciclo constructivo, pero especialmente en dos momentos principales:

- **El movimiento del avance del carro:** Durante las operaciones de avance, el carro sufre una serie de esfuerzos y deformaciones propios del movimiento, tanto en las distintas estructuras que lo componen, como en los elementos que mantienen los carros unidos al tablero. Dichos elementos (barras, tuercas, placas y manguitos de empalme) se tensionan en diversas ocasiones, con el consiguiente riesgo de desgaste si no se cumplen los protocolos aconsejados por el fabricante, pudiendo incluso llegar el momento de necesitar realizar la sustitución de dichos elementos por otros nuevos. Es también muy importante ver que las placas de reparto estén asentadas perfectamente sobre el hormigón y que éstas mantengan la perpendicularidad con las barras de cosido. Además de esto hay que tener especial cuidado con el estado de los gatos hidráulicos y el posicionamiento de los carriles durante el avance. [10]
- **El hormigonado:** Es en esta fase donde el carro se encuentra sometido a los máximos esfuerzos, por lo que se debe estar extremadamente atento ante cualquier contratiempo.

Además, debe comprobarse la estanqueidad de los encofrados y la seguridad de las plataformas de trabajo ya que el personal está moviéndose constantemente.

Una vez hecho el montaje de los carros de avance y realizado las revisiones necesarias, se puede proceder al movimiento y posicionamiento de los carros de avance, el cual se logra mediante la utilización de los equipos hidráulicos adaptados para la realización de dos funciones diferenciadas:

- **Avance:** Durante la fase de avance, el equipo está sometido exclusivamente a las sollicitaciones producidas por su propio peso. Con el carro de avance montado y anclado al tablero, se lanzan las vigas carril sobre la dovela hormigonada donde deben anclarse nuevamente. Posteriormente, se libera el carro de sus anclajes traseros y éste es desplazado sobre las vigas hasta la siguiente posición de hormigonado y vuelve a ser fijado al tablero. Durante este movimiento el carro recorre las vigas carril con los encofrados abiertos, apoyado en el conjunto de ruedas delanteras y sujeto por las traseras, impidiendo de esta forma que el centro de gravedad avanzado del mismo provoque el cabeceo. El encofrado interior se desplaza a través de una viga carril que está situada bajo la losa superior del tablero, a la par del encofrado exterior. [10]
- **Puesta en cota:** Esta operación se realiza, en una primera fase, mediante equipos hidráulicos verticales de grandes prestaciones, para posteriormente realizar el último ajuste con la ayuda de la grúa torre. Una vez trasladado el carro se procede a su posicionamiento. Para ello se realiza primero su alineación en eje, operación que se ejecuta fijando el encofrado sobre la dovela anterior. Luego, y simultáneamente, se procede a la corrección en planta y alzado de los puntos característicos. El proceso de posicionamiento y nivelación dura unas 2 horas por carro. El equipo lo componen 1 topógrafo, 1 ayudante de topografía, 4 oficiales para cada pareja de carros de una margen.

**3.1.3 Ejecución de dovelas** Las operaciones o actividades para la ejecución de dovelas simétricas son:

- **Avance y fijación del carro de avance:** Este ciclo comienza cuando el concreto alcanza la resistencia necesaria para iniciar el tesado a los cables de proceso. En este punto se puede retirar el encofrado y dar inicio al tesado de los cables de pretensado, luego con el sistema hidráulico se da avance y anclado al encofrado interior, exterior y las alas laterales de la sección ejecutada. Finalmente se ubica el carro de avance, perfectamente horizontal y nivelado en su posición definitiva.
- **Acero de refuerzo para la losa inferior:** El armado de acero de refuerzo de la sección inicia montando la losa inferior sobre el encofrado con sus respectivos separadores, esta actividad se hace manualmente.
- **Encofrado del resto de la sección:** Los encofrados del interior de la sección se encuentran abiertos, limpios y con su respectiva capa de desencofrante durante las operaciones de avance del carro y armado de acero de refuerzo.
- **Acero de refuerzo y colocación de ductos de la losa superior:** Primero se procede a colocar la armadura inferior de la losa, con sus correspondientes separadores. Los ductos de los cables de tesado del procedimiento constructivo se montan a continuación utilizando como referencia el acero de refuerzo y sujetándolos a él, para evitar su flotación con la operación con el concreto. El proceso de voladizos sucesivos precisa de dos grupos simétricos respecto al eje del tablero de cables horizontales. Conforme avanza el proceso, se van anclando cables por cada pareja de dovelas. Tras la colocación de los ductos de tesado del proceso constructivo, se coloca la capa superior del armado de la losa. [24]

- **Nivelación final del carro de avance:** Cuando la sección de la dovela está preparada para efectuar la fundida de la misma, se debe de hacer una comprobación topográfica de la cota para proceder a levantar el carro hasta aproximarlo a las cotas fijadas por el proyectista.
- **Hormigonado de la dovela:** Durante este proceso, el carro de avance permanece apoyado sobre gatos verticales situados bajo el pilar delantero y anclado al tablero en su parte posterior mediante barras y yugos. La sustentación de los diferentes encofrados se distribuye de forma que el frente delantero queda suspendido de la viga transversal delantera, mientras el trasero se ancla directamente al tablero anterior. La fundida de la dovela comienza en primer lugar con la ejecución de la losa inferior de la sección transversal. En segundo lugar, se funden las riostras de la sección lentamente para evitar el sifonamiento del concreto de la losa inferior. Finalmente se funde la losa superior, llevándola a todo lo ancho de la dovela, comenzando por el extremo frontal libre de la dovela y avanzando hacia la zona contigua a la dovela anterior.
- **Desencofrado de las dovelas:** Al día siguiente de la fundida se puede proceder al desencofrado lateral de la dovela.
- **Fraguado del concreto:** Las superficies expuestas del concreto de la dovela (solera y losa superior) deben curarse para evitar su fisuración por un proceso no controlado de retracción. El correcto fraguado del concreto es muy importante teniendo en cuenta el tipo de concreto que constituye el tablero del puente: al tratarse de una mezcla de alta resistencia con un elevado contenido en cemento de altas resistencias iniciales, se producen fuertes calores de hidratación a corto plazo. El curado del concreto de la dovela debe comenzar en el momento en que se inicia el fraguado, lo cual se manifiesta por una pérdida del brillo superficial.

- **Tesado de los cables de proceso constructivo:** Por lo general algunas empresas dan un procedimiento de tesado del Proceso Constructivo, en el que se incluye un programa de tesado completo, indicando: el orden, las fuerzas y las presiones equivalentes según los equipos utilizados, así como los alargamientos teóricos previstos y los valores de alarma.
- **Inyección de ductos:** La lechada para la inyección de los ductos se fabrica sobre el tablero, situando sobre el mismo la mezcladora de lechada y la bomba de inyección. La inyección se introduce dentro del ducto a través de los tubos de PVC de purga que se han conectado.

#### 5.1.4 Dovela de cierre



*Figura 28.* Viaducto Gilberto Borja Navarrete México DF-Tuxpan

Nota. Adaptado de: (El Sevier, s.f.)

Para la total finalización del tablero del puente, se ejecuta la dovela de cierre, en el vano central del viaducto. Para ello, se inmovilizan los dos semi-vanos con vigas metálicas y se utiliza la

plataforma inferior de uno de los carros como superficie de trabajo. Los encofrados exteriores se desmontan al igual que el interior del carro, para sustituirlos por encofrados hechos “in situ” pero más ligeros. [17]

### 5.1.5 Tesado de cierre



*Figura 29. Tesado de Cierre*

Nota. Adaptado de. (Konstruktiv, s.f.)

Como actividad final de tablero se realiza el tesado de continuidad, produciéndose la unión de los dos voladizos contiguos y convirtiendo a ambos en una viga continua, para absorber las cargas de uso. Se introducen los equipos de enhebrado y de tesado dentro de la zona hueca del tablero y se procede a enfilear dichos cables para luego tesar los cables de continuidad. Para introducir los cables se utilizan los agujeros dejados en la losa superior a tal efecto. Las vainas de los cables de continuidad se inyectan también desde la losa superior del tablero. [18]

Por último y con respecto a la finalización del tablero se puede indicar que se deben tapar los agujeros que se dejan para el anclaje del carro de avance, así como la instalación de juntas de dilatación si están proyectadas sobre el tablero.

**5.1.6 Aplicación en Colombia** El método de voladizos sucesivos permite la construcción de puentes de grandes y medianas luces, siendo una solución adecuada para la topografía colombiana. Los puentes construidos en Colombia se han realizado mediante este método, permitiendo el crecimiento vial, turístico y económico de las diferentes regiones.

A continuación, se presentan fichas técnicas de algunos puentes representativos construidos en Colombia con el método de voladizos sucesivos:

- Puente Juanambú (Entre las ciudades de Pasto y Popayán) 1975.
- Puente sobre la calle 100 (Bogotá D.C) 2011.
- Puente Gómez Ortiz (Bucaramanga – Zapatoca Sder.) 2012.
- Puente Yondó (Yondó, Antioquia). 2006.
- Viaducto el Tigre (Une los departamentos de Magdalena y Bolívar)
- Ampliación Viaducto García Cadena (Bucaramanga Sder.) 2016
- Viaducto Plato – Zambrano (Zambrano Bolívar)
- Viaducto Gualanday I (Coello Tolima)
- Viaducto Pericos (Vía Ibagué – Armenia)

**PUENTE JUANAMBÚ**

<p><b>UBICACIÓN:</b> Es parte de la vía panamericana entre las ciudades de Pasto y Popayán (Colombia).</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 200 m (20 m + 45 m + 90 m + 45 m)</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> Luz principal = 90m Segundo Pórtico central = 45m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> Vía 2 Carriles (Uno por sentido)</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 8.9m (Total) y 7.9m (calzada)</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b> Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Este puente fue galardonado en 1972 antes de su construcción (sobre planos) con el Premio Nacional de Ingeniería.</p>	
<p><b>FUENTE:</b> <a href="http://360gradosblog.com/index.php/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/#sthash.yxIBqsrY.dpuf">http://360gradosblog.com/index.php/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/#sthash.yxIBqsrY.dpuf</a></p>	

**PUENTE SOBRE LA CALLE 100**

<p><b>UBICACIÓN:</b> Bogotá D.C. (Colombia)</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 295 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> Tiene tres luces simétricas de 46 m, 83 m y 46 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 3 carriles por puente</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 11m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b> Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Los apoyos del puente son en forma circular, oval o rectangular, y las pilas en forma de cruz, se construyeron de esta forma para mejorar el aspecto arquitectónico.</p>	
<p><b>FUENTE:</b> <a href="http://blog.360gradosenconcreto.com/ingenieria-colombiana-puentes-de-la-calle-100-en-bogota/">http://blog.360gradosenconcreto.com/ingenieria-colombiana-puentes-de-la-calle-100-en-bogota/</a></p>	

**PUENTE GOMEZ ORTIZ**

<p><b>UBICACIÓN:</b></p>	
<p>Vía Bucaramanga - Zapatoca (Colombia)</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 510 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> 4</p>	
<p>Dos vanos de extremo de 85m</p>	
<p>Dos vanos centrales de 170m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 2</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 10.55 m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b></p>	
<p>Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Este puente hace parte de las obras complementarias necesarias para reponer la infraestructura que interfiere con la construcción de la presa de HIDROSOGAMOSO.</p>	
<p><b>FUENTE:</b></p>	
<p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=8ZPuda2MZhQ">https://www.youtube.com/watch?v=8ZPuda2MZhQ</a></p>	

**PUENTE YONDÓ**

<p><b>UBICACIÓN:</b> Yondó, Antioquia – Barrancabermeja, Sder. (Colombia).</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 919.10 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> Viaducto de acceso (margen derecha) = 359.95m Puente principal = 399.20 m (con lucecs de 99.6m - 200 m -99.60 m). Viaducto de acceso (margen Izq.) = 159.95m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 2</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 11 m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b> Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Obra premiada: México y Colombia. Primer lugar premio obras CEMEX. 2006. Excelencia en concreto, ASOCRETO.</p>	
<p><b>FUENTE:</b> <a href="https://www.uis.edu.co/webUIS/es/medios/Comunicacion/revistaSantander/revista2/puenteYondo1.pdf">https://www.uis.edu.co/webUIS/es/medios/Comunicacion/revistaSantander/revista2/puenteYondo1.pdf</a></p>	

**VIADUCTO EL TIGRE**

<p><b>UBICACIÓN:</b></p>	
<p>Une los departamentos de Magdalena y Bolívar.</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 304.50m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b></p>	
<p>Luz Central: 152m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 2</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 11m</p>	
<p>Calzada = 9.12m</p>	
<p>Andén = 1.50m</p>	
<p>Barrera de Tráfico = 0.38m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b></p>	
<p>Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b></p>	
<p><b>FUENTE:</b></p>	
<p><a href="http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes/">http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes/</a></p>	

**VIADUCTO GARCÍA CADENA (AMPLIACIÓN)**

<p><b>UBICACIÓN:</b> Autopista Bucaramanga - Floridablanca Santander</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 260 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> 3</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 5</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 24m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b></p>	
<p>Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b> <b>FUENTE:</b> <a href="http://2016/12/30/bucaramanga/1483111902_456817.html">http://2016/12/30/bucaramanga/ 1483111902_456817.html</a></p>	

**PUENTE PLATO - ZAMBRANO**

<p><b>UBICACIÓN:</b> Une las poblaciones de Zambrano (Bolívar) con Plato (Magdalena)</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 1073m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b></p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 2</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 11.3m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b> Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b></p>	
<p><b>TOMADO DE:</b> <a href="http://blog.360gradosenconcreto.com/ingenieria-colombiana">http://blog.360gradosenconcreto.com/ingenieria-colombiana</a></p>	

**VIADUCTO GUALANDAY I**

<p><b>UBICACIÓN:</b> Coello Tolima (Colombia)</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 603.8 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> 3 luces de 149.2m cada uno, 2 voladizos de 77.35m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 2</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 10.9 m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b> Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b></p>	
<p><b>TOMADO DE:</b> <a href="http://www.consortiointerconcesiones.net/proyecto/tramo-2">http://www.consortiointerconcesiones.net/proyecto/tramo-2</a></p>	

VIADUCTO PERICOS

<p><b>UBICACIÓN:</b></p>	
<p>Vía Ibagué Armenia</p>	
<p><b>LONGITUD:</b> 195.0 m</p>	
<p><b>NÚMERO DE VANOS:</b> 4 luces</p>	
<p>100 m, 50m, 26m y 18,45m</p>	
<p><b>NÚMERO DE CARRILES:</b> 2</p>	
<p><b>ANCHO:</b> 11.00 m</p>	
<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL TABLERO:</b></p>	
<p>Voladizos sucesivos con dovelas fundidas “in situ”.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Es considerado el segundo puente más largo de este tipo construido en Colombia.</p>	
<p><b>TOMADO DE:</b></p>	
<p><a href="http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes/">http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes/</a></p>	

## 5.2 Construcción de voladizos sucesivos prefabricados

La diferencia con la construcción del puente por voladizos sucesivos por fundida “in situ” es que la fabricación de las dovelas (prefabricación) se realiza en una zona aparte donde se realiza la obra. El uso de dovelas prefabricadas es más común para la construcción de puentes de gran longitud. Este método constructivo por la utilización de tecnologías más avanzadas, requiere mayores inversiones, pero también aumenta la velocidad de ejecución, puesto que se puede colocar una o dos dovelas por día, mientras que en el sistema de fundido “in situ” se realiza una dovela por semana por lo que resulta competitivo para puentes largos o para proyectos donde exista un elevado número de puentes. Los problemas que surgen en este tipo de puentes con este método de construcción se concretan en cómo es la geometría de la dovela, las juntas de unión entre ellas, cómo se deben construir y cómo se realizará la logística del montaje de las vigas. [6]

Esta técnica constructiva se inició a finales de la década de los 50 y luego fue aplicado con gran éxito en Francia. En España fue utilizado la primera vez por Carlos Fernández Casado en los puentes Almodóvar en el año 1962 y en el de Castejón en 1968, teniendo este último una luz principal de 101m. [10]

El método de dovelas sucesivas prefabricadas ha evolucionado a lo largo de tres generaciones de dovelas:

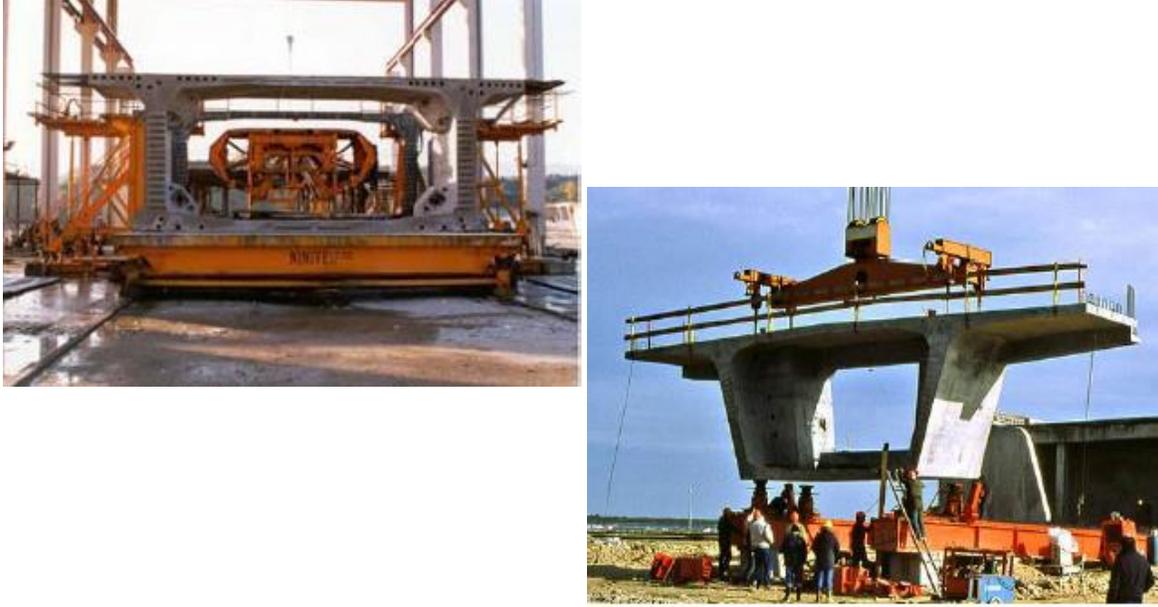
- **Primera generación:** Para los años 60 se usaba juntas de mortero de cemento, llave única a cortante y cables anclados en la propia junta.
- **Segunda generación:** La segunda generación se caracterizó por la prefabricación conjugada, el empleo de resinas epoxi en las juntas, las llaves múltiples para el cortante y el anclaje de los cables en el interior de la dovela en unos bloques dispuestos al efecto.

- **Tercera generación:** En Francia para los años 70, se caracteriza por el pretensado exterior y lamas de celosía de hormigón o metálicas, un ejemplo de este tipo fue el Puente de Bubián puesto en servicio en 1983 en Kuwait, construido con tecnología francesa. [10]

**5.2.1 Generalidades** El sistema constructivo de dovelas prefabricadas consiste en división del tablero en elementos cortados por planos perpendiculares a su eje, en el que cada porción tiene la sección transversal del tablero. Estos elementos tienen un peso por lo general entre 50 y 100 T, la fabricación de estos elementos se realiza en lugares cercanos al sitio de obra y la logística de su montaje depende de las condiciones topográficas del sitio.

Una de las principales características de este método consiste en que en las juntas entre dovelas no se deja conexión de armadura pasiva, por lo que la continuidad del tablero se consigue únicamente mediante el pretensado, lográndose un montaje rápido de elementos sencillo, que da lugar a algunos condicionantes característicos del sistema.

Las juntas que se han desarrollado y empleado para este sistema son juntas en seco y con resina epoxi. Las juntas secas se caracterizan porque la transmisión del esfuerzo cortante se realiza mediante el contacto directo entre los hormigones de las dos dovelas que están en contacto, o por el dentado continuo que se dispone a lo largo de las almas y en la cabeza superior e inferior en función de los esfuerzos. [11]



*Figura 30.* Sección Transversal dovela prefabricada

Nora. Adaptado de: (Victor Yepes, s.f.)

Otro tipo de junta usado, es el que se aplica sobre una de las dos superficies que estará en contacto con la capa de resina epoxi. Antes de iniciar la actividad de montaje de las dovelas, se debe colocar entre ellas un pretensado provisional que cumple con la función de repartir la resina por toda la superficie. La función primordial de la resina aplicada entre las dovelas es mejorar el contacto entre ellas y proporcionar impermeabilidad a la junta, no se debe considerar como un elemento que pueda resistir los esfuerzos de corte.

Para lograr una adecuada transmisión de esfuerzos cortantes en los dos tipos de juntas las características geométricas entre las caras de cada dovela adyacente deben ser iguales. Para cumplir con esta condición, se busca que en la fabricación de cada dovela se utilice como encofrado de una de las caras la dovela que va a estar en contacto con ella, lo que se conoce como método de la dovela conjugada. [24]

Otra característica de las juntas es la capacidad que tienen de proporcionar protección frente a los agentes externos a la armadura activa. La junta con relleno epoxi garantiza una protección al pretensado análoga a las estructuras monolíticas. Por tanto, la normativa permite la utilización de pretensado interior. En cambio, las juntas secas no garantizan la impermeabilidad total, por tanto, se utilizan juntas secas con pretensado exterior, cuya protección se consigue mediante barreras específicas, ductos de acero o polietileno y lechada de cemento o cera. [11]

## **5.2.2 Procedimiento de construcción**

**5.2.2.1 Zona de prefabricación** Las zonas o lotes de prefabricación tienen la infraestructura necesaria para la elaboración, distribución y puesta en obra del concreto, producción de aire comprimido, curado al vapor, parque de acero de refuerzo y acopio de elementos prefabricados, así como elementos de control geométrico.



*Figura 31. Dovela en parque de prefabricación*

Nora. Adaptado de: (Victor Yepes, s.f.)

**5.2.2.2 Fabricación de dovelas** Para conseguir la coincidencia de geometría entre caras de dovelas adyacentes, la fabricación de las dovelas se realiza por el método de la dovela conjugada, utilizando como encofrado de una cara la dovela con la que va a estar en contacto. [12]



*Figura 32.* Proceso de montaje de la viga Nora. Adaptado de: (Victor Yepes, s.f.)

Existen dos métodos para la fabricación de dovelas por el método de la dovela conjugada, fabricación en línea larga y en línea corta. Al no existir ningún elemento entre las dovelas, la geometría del tablero que se obtiene en el montaje es la resultante de adosar las dovelas unas a otras, lo que obliga a que éstas deban tener una geometría variable para poder construir tableros de geometría arbitraria. La geometría del tablero a construir viene determinada por el trazado del tablero más las deformaciones del mismo durante el montaje.

El método de la línea larga, consiste en la ejecución de una cama con la geometría del fondo del tablero que se va a fabricar, sobre la que se funde la totalidad del tablero dovela a dovela con ayuda de un encofrado que se traslada a lo largo del mismo. Las juntas entre dovelas se tratan con desencofrante para poderlas separar. [25]

En el caso de viaductos en los que el trazado es variable, la geometría varía en cada vano, por lo que se necesita una cama distinta para cada uno. La inversión necesaria es más reducida que la requerida para la fabricación en línea corta, tanto en equipos como en tecnología, al no necesitar un control geométrico tan complicado; pero los rendimientos son inferiores al no permitir el mismo grado de industrialización. [9]

En la fabricación en línea corta, la dovela se fabrica en una célula de prefabricación en la que el encofrado está formado por:

- La dovela adyacente, llamada dovela conjugada, en la cara en contacto con la misma.
- Un encofrado fijo o máscara para cara de la junta opuesta.
- Una mesa regulable para el encofrado inferior.
- Encofrados laterales abatibles, que se adaptan a los demás encofrados.
- Un encofrado interior retráctil que se introduce a través de la máscara.

En la fabricación en línea corta la geometría de cada dovela se consigue posicionando adecuadamente la dovela conjugada respecto de la máscara y adaptando el resto de los encofrados a la geometría delimitada por ambas. [9]

Para colocar en la posición requerida la dovela conjugada y la que se funde, se sitúan sobre mesas de encofrado provistas de gatos hidráulicos que permiten colocarlas en cualquier posición en el espacio.

La geometría de las dovelas se controla mediante referencias colocadas en las aristas superiores de la dovela conjugada y la que se funde, que permiten obtener la geometría en planta y alzado requerida por las dovelas. Los controles se realizan mediante microprismas que se alojan en unas

chapas que se dejan ancladas en el hormigón; las lecturas se hacen con una estación total con precisión de una décima de milímetro. [10]

Debido al tamaño y peso de las dovelas y a los desplazamientos que sufre la dovela conjugada durante la fundida y vibrado, no es posible fabricar las dovelas con la geometría teórica. Para evitar la acumulación de errores de fabricación que originarían que el tablero no tuviera la geometría deseada, previamente al desencofrado se repiten las mediciones, comprobándose la geometría realmente fabricada, sus datos se introducen en una aplicación informática que acoplado las dovelas fabricadas, obtiene la geometría del sólido formado por las dovelas construidas hasta el momento y define la geometría de la siguiente dovela a fundir de forma que compensen los errores acumulados y se minimice el error final. Para evitar los problemas derivados de los errores de lectura, se realizan medidas redundantes, disponiéndose controles que alertan en caso de falta de coherencia entre las distintas lecturas, obligando a la repetición de las mismas. La fabricación de dovelas se realiza en una planta que se desplaza para cada obra y tiene varias líneas de fabricación de dovelas. [11]

Habitualmente, el ritmo de fabricación es de una dovela por encofrado y día. Para permitir el desencofrado a las 12 h el concreto debe tener una resistencia de 175 Kg/cm<sup>2</sup>, por lo que es habitual realizar un curado al vapor. El acero de refuerzo y los ductos de pretensado se prefabrican completamente en moldes situados junto a la célula de fundida, lo que permite el control previo de la armada de acero de refuerzo y reduce al mínimo el tiempo necesario para la operación.

En el caso de dovelas con pretensado interior, cada tendón atraviesa un gran número de juntas que puede llegar a 40, si no se adoptan medidas, en dichas juntas pueden producirse quiebros que originarían una pérdida importante de la fuerza de pretensado. Para asegurar la continuidad del trazado, los ductos se prolongan de dovela a dovela mediante encofrados neumáticos, que

introducidos por el interior de los ductos de la dovela conjugada continúan por el interior de las de la dovela a fundir, de modo que se asegura la continuidad del trazado.

Las dovelas se manipulan en el acopio por medio de un carro elefante, tanto en el parque de fabricación como en el acopio próximo al viaducto a ejecutar. En la losa superior de las dovelas se dejan embebidos los tubos necesarios para su enganche por el carro elefante. [12]

**5.2.2.3 Colocación de Dovelas** Existen distintos métodos para colocar las dovelas en posición. En el caso de que la obra sea accesible por su parte inferior la colocación con grúas es un procedimiento adecuado. Sin embargo, esto es posible únicamente en muy pocas ocasiones. Pero el procedimiento más empleado corresponde a la viga de lanzamiento, que consiste en su esencia en una viga metálica con una longitud mayor que el vano más grande del puente [6].

El sistema consiste en:

- Una viga principal en celosía, o atirantada, cuyo cordón inferior actúa como puente-grúa.
- Tres patas que pueden o no estar fijadas a la viga principal. Las patas traseras y la central permiten que una dovela las atraviese por su interior.
- El carretón de la que cuelga la dovela puede trasladarse a lo largo del cordón inferior de la viga, descender o ascender la dovela y girar respecto a un eje vertical. [6]

A continuación, se describe el proceso de montaje de las dovelas utilizadas por FCC construcción en 7 viaductos en autovías del Noroeste y del Cantábrico (Norte de España). [12]

El montaje de las dovelas se realiza usando una viga superior de lanzamiento de 137 m de longitud y 90 Tn de capacidad de carga, formada por dos celosías metálicas sobre las que se traslada un cabrestante utilizado para la manipulación de dovelas y las traslaciones de la cimbra.

El montaje de cada “T” se inicia por la colocación de las tres dovelas centrales sobre cuatro apoyos colocados en cabeza de la pila, cada apoyo está formado por tres gatos, uno vertical con una capacidad de 1.500 T y dos horizontales. Estos conjuntos permiten la basculación, orientación y giro del tramo de tablero montado, lo que permite situarlo en su posición exacta una vez terminado el montaje de las dovelas, haciendo coincidir el extremo dorsal de la T con el frontal de la anterior y dejando el extremo frontal su posición teórica, como lo muestra la figura 29.



*Figura 33.* Ejecución del tablero del viaducto de Uztarreta

Nota. Adaptado de: (Ubierna, 2015)

Para el montaje de la dovela de pila se desmonta la pata auxiliar y se ancla el cabrestante al binario posterior con la dovela “0” colgada de él (así hará de contrapeso). Se descarga la pata trasera (operación que se realizará cada vez que se produzca un lanzamiento) y se lanza la cimbra hasta alcanzar la cabeza de pila, donde se apoya la pata delantera, en su parte frontal. A continuación, se coloca la dovela “0”, que se apoyará en unas cuñas de neopreno sobre los apoyos

definitivos del tablero, y se ancla provisionalmente a la pila mediante barras roscadas, para evitar movimientos.



*Figura 34.* Posicionamiento de la Dovela en la cabeza de la pila

Nota. Adaptado de: (Ubierna, 2015)

Luego se procede al montaje de las dovelas por avance en voladizo alternando dovela frontal y dovela dorsal. Las dovelas son recogidas en la cola de la cimbra y transportadas entre las celosías por el cabrestante, hasta llegar a una zona cercana a su ubicación. Una vez allí se procede a la aplicación de resina en el paramento de la dovela y se adosa al tablero construido, anclándola a la dovela anterior por medio de seis barras pretensadas de diámetro 40, a las que se les da tensión a fin de conseguir que en toda la junta exista una presión de 0.3 MPa necesaria para la unión de las dovelas y expulsión de la resina sobrante. [15]



Figura 35. Lanzamiento de la dovela  
 Nora. Adaptado de. (Victor Yepes, s.f.)

A medida que se van montando las dovelas se va realizando el pretensado definitivo. Las operaciones de montaje de dovelas y tesado del pretensado van desfasadas dos dovelas para evitar interferencias entre el equipo de montaje y el de tesado. Una vez terminado el montaje de cada tramo, se procede a la recolocación del mismo. A continuación, se realiza el cierre de clave mediante una dovela, que se ejecuta “in situ”, procediéndose al tesado del pretensado de continuidad del vano y a la inyección de los morteros sobre los apoyos, quedando el tablero sobre sus apoyos definitivos. [12]

Tras el montaje de las dovelas se procede a la ejecución de los voladizos laterales, en estos se realiza la fundida mediante un carro de alas, formado por una celosía metálica que sustenta el encofrado de la losa de los voladizos y sirve de apoyo provisional a los puntales. En cada fase se ejecuta la longitud correspondiente a cuatro dovelas. La estructura del carro permite el paso del carro elefante que suministra las dovelas a la cimbra, lo que permite que se haga de una manera

simultánea las operaciones de montaje de dovelas y fundida de voladizos, dicha fundida se realiza tres vanos por detrás del montaje de las dovelas, de forma que el movimiento del tablero producido por cada una de las dos operaciones no afecte a la otra.

El ritmo normal de montaje es de dos a tres pares de dovelas cada día, completándose el montaje de un tramo en tres semanas. El rendimiento de ejecución de voladizos es de 5 puestas de carros a la semana, lo que supone un total de 43 m de calzada semanales. Los rendimientos de ejecución son varias veces superiores a los obtenidos en la ejecución de voladizos sucesivos con dovelas hormigonadas “in situ” mediante carros [11].

Por último, cabe mencionar que la viga de lanzamiento presenta costos muy elevados, los cuales solo se compensan cuando el proyecto es de gran envergadura o cuando se vaya a utilizar la viga para la construcción de varios puentes.

### **6. Ventajas y desventajas de los dos sistemas constructivos.**

Las ventajas o desventajas que presenten cada uno de los sistemas de construcción también dependen del equipo y la experiencia del constructor en campo.

En cuanto a los tiempos de ejecución, los viaductos de dovelas prefabricadas aventajan al otro proceso de construcción de viaductos; esto debido a que se han aplicado procedimientos de estandarización en la fabricación, como una instalación fija y un montaje de las dovelas con maquinaria especializada. Permitiendo a su vez, conseguir rendimientos superiores comparados a los del proceso de construcción “in situ”.

En cuanto al aspecto económico, hay muchas variables, por ejemplo, si se utiliza el sistema de prefabricados para varios puentes de un mismo proyecto, su elevado costo se puede amortizar muy rápido; si, por el contrario, sólo se utiliza una vez, puede que sea más aconsejable construir por el método “in situ”. Si se requiere finalizar el proyecto en menor tiempo, implica un costo de inversión mayor en equipos e instalaciones (prefabricados), pero los costos por mano de obra son menores que los proyectos por el sistema “in situ”. Para que el método “in situ” sea rentable, las luces han de estar comprendidas entre 125 m y 175 m. Sin embargo, si las prefabricadas quieren competir con éstas, su rango es mucho menor, ya que se comprenden entre 60 m y 130 m. [8]

Los tiempos de ejecución y de economía no se pueden evaluar independientemente, ya que la velocidad de construcción obtenida por un de los dos sistemas genera consecuencias directas en la economía del proyecto.

En cuanto a las tensiones en el estado límite de servicio, se usa menos pretensado con el sistema “in situ” que con el método de prefabricados. Además, en los prefabricados los errores que se puedan provocar en cuanto a la geometría no se pueden detectar hasta la fase de lanzamiento de dovelas. Si se utiliza “in situ” esto no se produce por los constantes monitoreos y control topográfico, con lo que se puede corregir a tiempo.

Cuando se realiza el método prefabricado, en el parque de prefabricación, simultáneamente, se pueden fabricar, dovelas, cimentaciones, pilas, etc. Al hacerlo con el método “in situ”, hay que respetar los tiempos de fraguado y curado para comenzar con la siguiente parte, alargando el proceso.

### **7. Posible aplicación del método de dovelas prefabricadas en Colombia.**

En Colombia se está adelantando avances y mejoramientos en 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 concesionarias, los cuales tienen la obligación de cumplir tiempos de entrega considerablemente reducidos debido a la urgencia que tiene el país de contar con las vías proyectadas, pues las actuales, no satisfacen la necesidad de transporte en 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. Teniendo en cuenta que uno de los factores que generan retrasos en la construcción de la malla vial se debe a los cambios climáticos o diferentes obstáculos que se presenten, ya sean directos o indirectamente proporcional al avance de la obra, afecta la realización de ciertas actividades, estas condiciones ambientales deben afectar en lo más mínimo el avance de la obra de los puentes y ante la inminente necesidad de llevarlos a cabo en corto plazo, se necesita establecer una estrategia para facilitar la construcción acelerada de estas obras, ya que con las técnicas de construcción de puentes actuales en el país, no se lograría el objetivo de habilitar estas vías en el menor tiempo posible. Por lo anterior, se debería mirar con mayor interés las técnicas industrializadas para la ejecución de puentes, como las dovelas

prefabricadas que reducirán considerablemente el tiempo de construcción y tendrían una mejor calidad.

## 8. Conclusiones

- La fabricación y montaje de elementos repetitivos permite la industrialización de la construcción mediante la utilización de procedimientos estandarizados de fabricación, la aplicación de sistemas de control de calidad, obteniéndose las ventajas derivadas de la prefabricación en una instalación fija y el montaje de los elementos con maquinaria especializada, lo que permite conseguir rendimientos superiores a los obtenidos mediante construcción in situ.
- Una de las ventajas del método prefabricado es que se pueden hacer dovelas, cimentaciones, pilas, etc, simultáneamente en el parque de fabricación y no hay que respetar tiempos de fraguado y curado del concreto (método “in situ”) para continuar con la siguiente dovela.
- 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”.
- Una gran ventaja del método “in situ” respecto al método prefabricado es la menor utilización de pretensado; además, los errores que se puedan inducir en cuanto a la

geometría pueden detectarse y corregirse a tiempo, mientras que en las dovelas prefabricadas estos errores solo se pueden detectar en la fase de lanzamiento de dovelas.

- Los puentes construidos por voladizos sucesivos presentan dificultades especiales en cuanto a cálculo. El volumen de cálculos necesarios es mucho mayor que para otros tipos de obras, existe un número importante de secciones que hay que verificar.

**Citas Bibliográficas**

- [1] Jorge Galindo Díaz. La construcción de puentes colgantes en Colombia durante el siglo XIX: Entre la tradición y la innovación.
- [2] Safford, F. (1976): The ideal of the Practical. Colombia's Struggle to Form a Technical Elite. Austin: University of Texas.
- [3] Galindo, J. & Paredes, J. (2008): Puentes de arco de ladrillo en la región del alto Cauca. Una tradición constructiva olvidada. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [4] <http://www.banrepcultural.org/node/32381>, Bell Lemus, Carlos Arturo. 1999. Consultado el 02/05/2017.
- [5] Restrepo, Jorge Enrique. Argos, Blog 360° en concreto. Hablemos de puentes de concreto en Colombia. Consultado el 11/05/2017.
- [6] Manterola, J. Puentes Apuntes para su Diseño, Cálculo y Construcción. Tomo II. Rugarte, S.L. Madrid. Junio 2006.
- [7] Fernández, C; Manterola J. "Construcción de Puentes por Voladizos Sucesivos mediante Dovelas Prefabricadas". Revista de Obras Públicas. Número 3063. Julio 1970.
- [8] Pérez, S; Herrero, J. Comparación de Voladizos Sucesivos "in situ" con Voladizos Sucesivos Prefabricados. Revista Hormigón y Acero No. 195. 1995.
- [9] González, B. Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005.
- [10] Pérez, S. Voladizos Sucesivos por Dovelas Prefabricadas. Viaducto de Cruzul. Revista de Obras Públicas. Enero 1990. Págs. 21 a 30.

- [11]González, B. Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005.
- [12]CONSTRUCCIÓN DE VIADUCTOS DE DOVELAS PREFABRICADAS José Ignacio González Esteban Dr. Ingeniero de Caminos C. y P. Director del Servicio de estructuras Dirección Técnica FCC, Construcción S.A
- [13]Pérez, S; Herrero, J. Comparación de Voladizos Sucesivos “in situ” con Voladizos Sucesivos Prefabricados. Revista Hormigón y Acero No. 195. 1995.
- [14]Pérez, S; Herrero, J. Viaductos de Dovelas Prefabricadas en Arlabán- Eskoriatza. Ferroviál.
- [15]Pérez, S; Herrero, J. Nuevas Realizaciones De Puentes Con Dovelas Prefabricadas. III Congreso de Ache de Puentes y Estructuras. 2005.
- [16]Torroja Ingeniería. Proyectos - Puentes <http://www.torroja.es/>
- [17]Viera, A. VIADUCTO LAS SALINAS POR VOLADIZOS SUCESIVOS. Informe Técnico VI/01/2006. FCC Construcción S.A. 2006.
- [18]“Puentes construidos por voladizos sucesivos”. ARENAS DE PABLO, Juan José. En: Hormigón y acero, Madrid, 1977, No. 123, p. 117-154, Madrid-. España. En: “Construcciones de puentes en voladizos sucesivos fundidos en sitio”. REDFIELD, Charles M. En: jornadas estructurales de lo ingeniería colombiana (4: 1981 Bogota). SCI, 1981 – p, 1-18. Bogota Colombia. “Desarrollo y tendencias actuales en la construcción de puentes”. FARIAS GARCIA, Dario asociación colombiana de ingenieros constructores.
- [19] Montero V. Samuel. (2010). Ingeniería de puentes. doi: 978-958-8506-07-4.
- [20]<http://puentes.galeon.com/tipos/pontsmadera.htm>, Puentes Galeon. Puentes en madera. Consultado 10/08/2017.

- [21] Villarino O. Alberto. Tema 7. Puentes. Ingeniero de caminos, canales y puerto. Escuela politécnica superior de Ávila.
- [22] <http://blog.360gradosenconcreto.com/como-se-clasifican-los-puentes-de-concreto-infografia-2/>
- [23] AASHTO LRFD, (2007), Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials. <http://www.transportation.org/>
- [24] [ftp://ceres.udc.es/ITS\\_Caminos/2\\_Ciclo/Edificacion\\_Prefabricacion/20112012/Prefabricacion/11\\_12\\_EP\\_prefabricaci%C3%B3n\\_tema\\_5.pdf](ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/2_Ciclo/Edificacion_Prefabricacion/20112012/Prefabricacion/11_12_EP_prefabricaci%C3%B3n_tema_5.pdf)
- [25] Gerardo Perdomo M. Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos [Tesis de Máster]. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya; Junio 2011.

### Referencias Bibliográficas

- 360 grados Blog. (s.f.). Hablemos de puentes de concreto en Colombia. Obtenido de <http://360gradosblog.com/index.php/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/#sthash.yxIBqsrY.dpuf>
- 360 Grados blog. (s.f.). Hablemos de puentes de concreto en Colombia. Obtenido de <http://360gradosblog.com/index.php/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/#sthash.yxIBqsrY.dpuf>
- 360 Grados en concreto. (s.f.). Como se clasifican los puentes de concreto infografía. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/como-se-clasifican-los-puentes-de-concreto-infografia-2/>
- 360 Grados en concreto. (s.f.). Como se construye un puente en dovelas sucesivas. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/como-se-construye-un-puente-en-dovelas-sucesivas/>
- 360 Grados en concreto. (s.f.). Ingeniería Colombiana. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/ingenieria-colombiana>
- Aashto LRFD, (2007), Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials. <http://www.transportation.org/>
- ABC Economía. (14 de Mayo de 2014). Habitan el puente de Guillermo Gaviria en Yondo. Obtenido de <http://abceconomia.co/2014/05/14/habilitan-el-puente-guillermo-gaviria-en-yondo/>
- Arenas De Pablo, J. J. (1977) “Puentes construidos por voladizos sucesivos”. En: Hormigón y acero, Madrid, 1977, No. 123, p. 117-154, Madrid-. España. En: “Construcciones de puentes en voladizos sucesivos fundidos en sitio”. REDFIELD, Charles M. En: jornadas estructurales de lo ingeniería colombiana (4: 1981 Bogota). SCI, 1981 – p, 1-18. Bogota

Colombia. “Desarrollo y tendencias actuales en la construcción de puentes”. FARIAS GARCIA, Dario asociación colombiana de ingenieros constructores.

Bell Lemus, C. A. (1999) . Recuperado el 02/05/2017. <http://www.banrepcultural.org/node/32381>

Con Civiles. (s.f.). Viaducto pipiral. Obtenido de <http://www.conciviles.com/proyectos/infraestructura-vial/viaducto-pipiral/>

El Sevier. (s.f.). Revista Hormigon Acero Artículo viaducto Gilberto Borja Navarrete. Obtenido de <http://www.elsevier.es/es-revista-hormigon-acero-394-articulo-viaducto-gilberto-borja-navarrete-S0439568915000248>

Estructurando. (27 de Marzo de 2012). Una de puentes tipologías y procesos constructivos versus Luz. Obtenido de <http://estructurando.net/2012/03/27/una-de-puentes-tipologias-y-procesosconstructivos-versus-luz/>

Fernández, C; Manterola J. (Julio 1970) “Construcción de Puentes por Voladizos Sucesivos mediante Dovelas Prefabricadas”. Revista de Obras Públicas. Número 3063.

Galindo Díaz J. (s.f.). La construcción de puentes colgantes en Colombia durante el siglo XIX: Entre la tradición y la innovación.

Galindo, J. & Paredes, J. (2008): Puentes de arco de ladrillo en la región del alto Cauca. Una tradición constructiva olvidada. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Gerardino Perdomo M. (Junio 2011) Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos [Tesis de Máster]. Barcelona: Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya,;

González Esteban J. I. (s.f.) Construcción de viaductos de dovelas Prefabricadas. Ingeniero de Caminos C. y P. Director del Servicio de estructuras Dirección Técnica FCC, Construcción S.A

González, B. (2004) Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005.

- González, B. (2004) Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005.
- Historias del Magdalena. (Abril de 2016). Historicas vias del Magdalena. Obtenido de <http://historiasdelmagdalena.blogspot.com.co/2016/04/historicas-vias-del-magdalena.html>
- Konstruktiv. (s.f.). Obtenido de <http://konstruktiv.su/produkcija/natyazhnoe-i-ankerno-oborudovanie-paul-dlya-strojploshhadok/domkraty-gruppovogo-natyazheniya-trosov-nastrojploshhadkah>
- León García, A. (s.f.). Estudios, diseños y construcción del puente. Obtenido de <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/mediosComunicacion/revistaSantander/revista2/puenteYondo1.pdf>
- Manterola, J. (Junio 2006) Puentes Apuntes para su Diseño, Cálculo y Construcción. Tomo II. Rugarte, S.L. Madrid.
- Montero V. Samuel. (2010). Ingeniería de puentes. doi: 978-958-8506-07-4. <http://puentes.galeon.com/tipos/pontsmadera.htm>, Puentes Galeon. Puentes en madera. Consultado 10/08/2017.
- Pérez, S. (Enero 1990) Voladizos Sucesivos por Dovelas Prefabricadas. Viaducto de Cruzul. Revista de Obras Públicas.. Págs. 21 a 30.
- Pérez, S; Herrero, J. (199) 5Comparación de Voladizos Sucesivos “in situ” con Voladizos Sucesivos Prefabricados. Revista Hormigón y Acero No. 195.
- Pérez, S; Herrero, J. (1995) Comparación de Voladizos Sucesivos “in situ” con Voladizos Sucesivos Prefabricados. Revista Hormigón y Acero No. 195..
- Pérez, S; Herrero, J. (2005) Nuevas Realizaciones De Puentes Con Dovelas Prefabricadas. III Congreso de Ache de Puentes y Estructuras..
- Pérez, S; Herrero, J. (s.f.) Viaductos de Dovelas Prefabricadas en Arlabán- Eskoriatza. Ferrovia.

Prezi. (s.f.). Sistemas constructivos de edificaciones y puentes. Obtenido de <https://prezi.com/ffkdkw1rycsk/sistemas-constructivos-de-edificaciones-y-puentes/>

Restrepo, J. E.. Argos, Blog 360° en concreto. Hablemos de puentes de concreto en Colombia. Consultado el 11/05/2017.

Safford, F. (1976): The ideal of the Practical. Colombia's Struggle to Form a Technical Elite. Austin: University of Texas.

Silcarsa. (s.f.). Viaductos y puentes. Obtenido de <http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes>

Torroja Ingeniería. Proyectos - Puentes <http://www.torroja.es/>

Ubierna, M. (16 de Octubre de 2015). Dovelas prefabricadas. Obtenido de [http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/ponencias\\_jt151016\\_puentes/es\\_def/adjuntos/ponencia\\_monika\\_ubierna\\_puentes.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/ponencias_jt151016_puentes/es_def/adjuntos/ponencia_monika_ubierna_puentes.pdf)

Victor Yepes. (s.f.). Puente. Obtenido de <http://victoryepes.blogs.upv.es/tag/puente/>

Viera, A. (2006) Viaducto las salinas por voladizos sucesivos. Informe Técnico VI/01/2006. FCC Construcción S.A..

Villarino O. Alberto. (s.f.) Tema 7. Puentes. Ingeniero de caminos, canales y puerto. Escuela politécnica superior de Ávila.