

**PUNTES VANO A VANO: CONSTRUCCIÓN IN-SITU VS PREFABRICADO.**

**JOSE NICOLAS RIBEROS MONTERO**

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

**2017**

**PUENTES VANO A VANO: CONSTRUCCIÓN IN-SITU VS PREFABRICADO.**

**JOSE NICOLAS RIBEROS MONTERO**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de:  
Especialista en Estructuras**

**DIRECTOR:**

**ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES**

**PhD. en Ingeniería de la Construcción**

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

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermanos con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta monografía. Agradezco a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por la capacidad, disposición y conocimiento que me ha dado en cada momento. De igual manera, agradezco a mi director de monografía, el ingeniero Alvaro Viviescas Jaimes, por su orientación y disposición en la elaboración de este trabajo.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	12
1. OBJETIVOS.....	13
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
1.3. ALCANCE .....	13
2. ANTECEDENTES.....	14
3. MARCO TEÓRICO.....	16
3.1. CLASIFICACIÓN POR MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	16
3.1.1. Puentes de Mampostería.....	17
3.1.2. Puentes de Madera.....	17
3.1.3. Puentes de Concreto.....	18
3.1.4. Puentes de Acero.....	19
3.2. TIPOLOGIAS DE PUENTES EN COLOMBIA.....	20
3.2.1. Puentes de losa.....	20
3.2.2. Puentes de vigas y losa.....	21
3.2.3. Puentes en arco.....	21
3.2.4. Puentes atirantados.....	22
3.2.5. Puentes colgantes.....	26
4. TECNICAS Y METODOS DOMINANTES DE CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO EN COLOMBIA.....	30
4.1. PUENTES EN VOLADIZOS SUCESIVOS.....	30

4.1.1. Proceso constructivo.....	31
4.1.2. Voladizos sucesivos fundidos “IN SITU” . .....	33
4.1.3. Voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas. ....	35
5. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN EVOLUTIVA DE PUENTES DE LUCES MEDIAS A NIVEL INTERNACIONAL Y SU POSIBLE APLICACIÓN A COLOMBIA.....	36
5.1. CONSTRUCCION POR TRASLACION VERTICAL Y HORIZONTAL .....	37
5.2. PUENTES CONSTRUIDOS POR IZADO DE VIGAS PREFABRICADAS .....	38
5.3. PUENTES EMPUJADOS.....	39
6. PUENTES CONSTRUIDOS VANO A VANO .....	41
6.1. DESCRIPCIÓN .....	41
6.2. TIPOLOGIAS DE AUTOCIMBRAS .....	44
6.2.1. Según su posición respecto al tablero. ....	44
6.2.2. Según el sistema de ejecución. ....	46
6.2.3. Según el tipo de sección del tablero. ....	47
6.3. TIPOS DE CONSTRUCCION VANO A VANO .....	47
6.3.1. Vano a vano fundido IN-SITU. ....	47
6.3.2. Vano a vano prefabricado. ....	54
6.4. TENDENCIAS DE FUTURO .....	58
7. CONCLUSIONES .....	61
CITAS BIBLIOGRAFIA .....	63
BIBLIOGRAFIA .....	69

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. "M1-70-S" autocimbra superior para el puente Pumarejo.....	14
Figura 2. Puente pumarejo sobre río Magdalena, Barranquilla, Atlántico. ....	15
Figura 3. Puente de Boyacá, monumento nacional, Ventaquemada - Boyacá. ....	17
Figura 4. Puente en guadua, parque Panaca – Quimbaya, Quindío.....	18
Figura 5. Viaducto el Tigre, vía Ibagué – Cajamarca, Colombia.....	19
Figura 6. Puente viga cajón en acero con losa en concreto reforzado (puente carrera 5 con calle 26 – Bogotá, Colombia).....	20
Figura 7. Puente papi quiero piña – Floridablanca, Santander. ....	21
Figura 8. Puente Flandes – Girón, Santander.....	22
Figura 9. Partes fundamentales de un puente atirantado. ....	23
Figura 10. Clasificación de puentes atirantados. ....	25
Figura 11. Viaducto carrera 9ª – Bucaramanga, Santander.....	25
Figura 12. Partes fundamentales de un puente colgante.....	26
Figura 13. Puente Golden Gate - San Francisco, California. ....	28
Figura 14. Puente colgante de Chacao - región de los lagos, Chile. ....	29
Figura 15. Carros de avance. ....	34
Figura 16. Puente por voladizos sucesivos fundidos "In Situ" - viaducto tramo Cisneros-Loboguerrero, vía Buga-Buenaventura, Valle.....	34
Figura 17. Encolado de dovelas prefabricadas en la construcción por voladizos sucesivos. ....	35
Figura 18. Rango de utilización de procesos constructivos más frecuente en función de su luz. ....	36
Figura 19. Izaje de vigas prefabricadas. ....	38
Figura 20. Sistema de puentes empujados.....	40
Figura 21. Cimbra autolanzable, Viaducto de Corgo - Vila Real, Portugal.....	42

Figura 22. Sistema estructural muscular.....	43
Figura 23. Cimbras inferiores.....	45
Figura 24. Cimbras superiores.....	46
Figura 25. Primera cimbra autolanzable. España, 1973. ....	48
Figura 26. Puente Creek Valley - Nitra, Eslovaquia. ....	51
Figura 27. Viaducto de Corgo – Vila real, Portugal. ....	52
Figura 28. Puente Río Cabriel – Valencia, España.....	52
Figura 29. D1 Fricovce Svinia - Presov, Eslovaquia. ....	53
Figura 30. D1 Jablonov – Janovce - Presov, Eslovaquia.....	53
Figura 31. Opatovicky Canal - Pardubice, Republica Checa. ....	54
Figura 32. Puente Long Key, Layton, Florida (1982). ....	55
Figura 33. Viaducto de enlace A3-M45 de Madrid.....	56
Figura 34. Puente Anita Garibaldi, Laguna – Brasil. ....	58
Figura 35. Lanzadora Lg-M1 "Berd" para luces entre 70 y 120m. ....	60

## RESUMEN

**TÍTULO:** Puentes vano a vano: construcción in-situ vs prefabricado\*

**AUTOR:** JOSE NICOLAS RIBEROS MONTERO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Superestructura, puentes, prefabricado, vano a vano, Cimbras.

### DESCRIPCIÓN

Recientemente en Colombia el crecimiento de la infraestructura vial con la cuarta generación de convenciones viales (4G), que incluyen grandes cantidades de puentes de pequeñas, grandes y medianas luces, ha llevado a la industria de construcción de puentes a estar en constante desarrollo a fin de mejorar los tiempos de ejecución, presupuesto y calidad de las estructuras. Es así como nace la necesidad de buscar nuevas alternativas empleadas en países desarrollados que contribuyan al rendimiento en la construcción de puentes de luces medias en el territorio nacional.

Esta monografía tiene el fin de estudiar de manera comparativa dos técnicas de construcción, vano a vano In Situ vs prefabricado y su aplicación en Colombia, considerando las ventajas y desventajas que estas puedan presentar dentro de la industria de construcción nacional. Además, consta de una clasificación de tipologías de puentes de acuerdo a diversos conceptos como el tipo de material, el sistema estructural, el sistema constructivo, el uso del puente y según su longitud. Presenta a su vez técnicas y métodos dominantes de construcción de puentes de concreto en Colombia y técnicas de construcción evolutiva de puentes de luces medias a nivel internacional y su posible implementación a Colombia.

Al final, se emiten una serie de conclusiones y recomendaciones respecto al uso de la metodología vano a vano fundidos in situ o prefabricados, para su aplicación en Colombia en cuanto a tiempos de ejecución, costos, eficiencia y mano de obra.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en Estructuras. Director Phd. Álvaro Viviescas Jaimes.

## ABSTRACT

**TITLE:** SPAN BY SPAN BRIDGE: CONSTRUCTION IN SITU VS PREFABRICATED \*

**AUTHOR:** JOSE NICOLAS RIBEROS MONTERO\*\*

**KEY WORDS:** Superstructure, Bridges, prefabricated, Span by Span, Truss.

### DESCRIPTION

Recently in Colombia, the growth of the road infrastructure with the fourth generation of conventional roads (4G), which includes a large amount small, medium and long span bridges, has led the construction industry to maintain steady development to improve/enhance the operation time, the budget implementation and the quality of the structures. Hence the need for new alternatives implemented in developed countries to enhance the performance during the construction of mid-sized bridges over the country.

The aim of this thesis project is to investigate in a comparative manner two building techniques “Span by Span bridge” in Situ vs prefabricated and their implementation in Colombia, considering the advantages and disadvantages that could arise from each one on the construction national industry. Moreover, a classification of the bridges is offered, based on the different criterion such as the type of material, structural system, construction system, use and in terms of length. It includes also techniques and prevailing construction methods of concrete bridges in the national industry along with international evolving techniques for middle-span bridges and their potential deployment in Colombia.

Finally, this project draws conclusions and recommendations regarding the use of the “Span by Span bridge” cast in situ or prefabricated methodology and its implementation in the execution times, costs performance, efficiency, and labor force in local projects..

---

\* Monograph.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Specialization in Structures Director: Alvaro Viviescas Jaimes, Ph.D

## INTRODUCCION

Dentro del campo de la ingeniería civil, se encuentra la rama relacionada a la ingeniería estructural, la cual abarca el estudio de los puentes. Estas estructuras cumplen funciones muy importantes para el desarrollo económico y social de una región, permitiendo acortar distancias y por consiguiente tiempos de recorrido, haciendo los viajes más cómodos y agradables, comunicando pueblos distantes y remotos.

Actualmente en Colombia, se está incrementando el diseño y construcción de corredores viales con la cuarta generación de concesiones viales (4G) <sup>[33]</sup>, los cuales incluyen grandes cantidades de puentes de pequeñas, grandes y medianas luces. Al tratarse de obras de carácter prioritario en cuanto a movilidad nacional, se dispone de tiempos de ejecución muy reducidos, razón por la cual surge la necesidad de explorar técnicas industrializadas de probada eficiencia en entornos internacionales para evaluar la probabilidad de aplicación al entorno colombiano. En este trabajo se busca comparar dos de las técnicas más utilizadas en la construcción de puentes, Puentes construidos vano a vano In Situ Vs prefabricados.

Con la elaboración de esta monografía se desea estudiar las ventajas y desventajas de cada técnica de construcción, analizando parámetros importantes como lo son el precio y el tiempo de la ejecución, para puentes de luces medias en la industria Colombiana.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer una comparación entre la construcción de puentes en concreto fundidos In-situ vs construcción prefabricada para luces medias en Colombia.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las técnicas y métodos dominantes para la construcción de puentes de concreto de luces medias en Colombia.
- Identificar las técnicas de construcción industrializada de puentes de luces medias a nivel internacional.
- Definir técnicas de construcción internacional de puentes de luces medias para su posible aplicación en Colombia.

### **1.3. ALCANCE**

Este trabajo se enfocará en el estudio de puentes en concreto de luces medias, entre 60 y 90m de longitud. Se limita al estudio de información existente en fuentes secundarias (artículos científicos, trabajos de grado de pregrado y posgrado), revistas, memorias de congresos, entre otros.

## 2. ANTECEDENTES

En Colombia dominan los puentes en voladizos sucesivos fundidos in situ y los puentes de vigas postensadas. Solo de manera reciente se empiezan a realizar los primeros proyectos de vanos para rangos de luces medias, como es el caso del puente Pumarejo.

El Puente Pumarejo actualmente se encuentra en construcción y será el puente más grande y más moderno construido hasta ahora en Colombia. Con una longitud total de 3240 m (2250 m en el eje principal + 990 m de viaductos en conexiones y accesos) y un galibo de 45 m sobre el Río Magdalena, permitiendo el paso de embarcaciones de grandes dimensiones y conectará Barranquilla y Santa Marta. Tendrá una estructura antisísmica muy segura destinada al tráfico de vehículos pesados, con 38,2 m de ancho para 2 vías con 3 carriles cada una, más 2 vías peatonales y ciclovías <sup>[29]</sup>.

**Figura 1. "M1-70-S" autocimbra superior para el puente Pumarejo.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/news/m1-70-s-da-berd-a-fazer-historia-na-colombia/>

**Figura 2. Puente pumarejo sobre río Magdalena, Barranquilla, Atlántico.**



Fuente: EL TIEMPO [en línea] disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15638800>

### **3. MARCO TEÓRICO.**

Los puentes son estructuras construidas para superar obstáculos naturales (valles y/o ríos) o creados por el hombre, por su tipología que muchas veces obliga la disposición de grandes luces y grandes alturas, así como las grandes cargas a las que deben responder. Suelen apoyar un camino, una carretera o una vía férrea, pero también pueden sostener tuberías y líneas de distribución de energía. Los que soportan un canal o conductos de agua se llaman acueductos. Los puentes construidos sobre terreno seco o en un valle se suelen llamar viaductos; se llaman pasos elevados los puentes que cruzan las autopistas y las vías de tren. Un puente bajo, pavimentado, sobre aguas pantanosas o en una bahía y formado por muchos tramos cortos se suele llamar carretera elevada.

Los puentes se pueden clasificar en diferentes tipos, de acuerdo a diversos conceptos como el tipo de material, el sistema estructural predominante, el sistema constructivo, el uso del puente, según la longitud, etc [2].

#### **3.1. CLASIFICACIÓN POR MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

Los puentes pueden ser clasificados por los materiales con los cuales son construidos, entre los cuales principalmente se tiene: mampostería, madera, concreto y acero. De esta forma se habla de puentes de mampostería, madera, concreto y acero. Esto no significa que el tipo de material sea usado exclusivamente para construir enteramente ese puente. Usualmente estos materiales son usados en combinación, es decir, que un puente puede tener vigas de acero y tablero en concreto reforzado lo cual sucede a menudo en Colombia [2].

**3.1.1. Puentes de Mampostería.** Son los puentes más antiguos del mundo. Pueden ser contruidos en piedra o ladrillo. Trabajan fundamentalmente a compresión y limitan o eliminan totalmente el efecto a flexión [2]. En la figura 3 se ilustra el puente de Boyacá, Patrimonio nacional, ubicado en la vereda Ventaquemada en el departamento de Boyacá, Colombia.

**Figura 3. Puente de Boyacá, monumento nacional, Ventaquemada - Boyacá.**



Fuente: EL HERALDO Diez destinos turísticos para honrar los próceres de la patria[en línea] disponible en: <https://www.elheraldo.co/tendencias/diez-destinos-turisticos-para-honrar-los-proceres-de-la-patria-206603>

**3.1.2. Puentes de Madera.** Este tipo de puentes fue ampliamente usado en el pasado, hoy en día solo se utilizan para puentes peatonales. 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 es mantener adecuadamente el puente para que este tenga una vida útil aceptable [2].

En Colombia es utilizada la guadua para la construcción de puentes peatonales como el mostrado en la figura 4.

**Figura 4. Puente en guadua, parque Panaca – Quimbaya, Quindío.**



**3.1.3. Puentes de 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 [2].

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 [2].

El viaducto el Tigre, figura 5, Ubicado en la vía Ibagué – Cajamarca, es un puente de concreto postensado de tres (3) luces de 75.50, 152.00 y 75.50 m; las vigas de la superestructura están constituidas por una viga continua de sección cajón con altura variable entre las caras de las pilas y el centro de las luces. La superestructura

fue diseñada para ser construida por el método de voladizos sucesivos con dovelas fundidas in situ sobre carros de avance convencional. La longitud total del puente es de 304.50 m, con dos (2) apoyos principales y dos (2) estribos, ancho de tablero de aproximadamente 11.0 m para una calzada de dos carriles, andén y barandas [2].

**Figura 5. Viaducto el Tigre, vía Ibagué – Cajamarca, Colombia.**



Fuente: SILCARSA Viaductos y puentes [en línea] disponible en: <http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes/>

**3.1.4. Puentes de Acero.** Generalmente este tipo de puente consta 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 el caso de los puentes en arco, estos son construidos tanto en acero como en concreto.

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 [2].

**Figura 6. Puente viga cajón en acero con losa en concreto reforzado (puente carrera 5 con calle 26 – Bogotá, Colombia).**



Fuente: DIRINFRA Puentes [en línea] disponible en: <https://dirinfra.mintransporte.gov.co/pvr2/images/stories/documentos/puentes1a1.pdf>

## **3.2. TIPOLOGIAS DE PUENTES EN COLOMBIA**

Para este trabajo se presentarán las principales tipologías de puentes con su respectivo ejemplo en Colombia:

**3.2.1. Puentes de losa.** En el puente de losa el tablero se encuentra apoyado directamente en los estribos en el caso de las luces simples o en las pilas en el caso de puentes continuos. Las cargas son recibidas en el tablero y transmitidas directamente hacia los estribos o pilas. En general este tipo de tablero se construye en concreto reforzado o preesforzado y pueden ser macizos o aligerados.

En Colombia existen muchos puentes de esta tipología, especialmente en las vías intermunicipales.

**3.2.2. Puentes de vigas y losa.** En los puentes de viga y losa el tablero es soportado por vigas, que a su vez son soportadas por los estribos o pilas. Las cargas son entonces transferidas del tablero a las vigas y de estas a los estribos o pilas. El tablero usualmente es construido en concreto reforzado. Las vigas pueden ser de acero, concreto reforzado, concreto preesforzado o madera y están posicionadas con sus ejes paralelos a la dirección del tráfico. La losa por tanto se flexiona y diseña en la dirección perpendicular al tráfico.

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.

**Figura 7. Puente papi quiero piña – Floridablanca, Santander.**



**3.2.3. Puentes en arco.** En este tipo de puentes trabaja a compresión la mayor parte de la estructura. Su característica más importante es el empuje horizontal que transmite sobre los apoyos. El arco es el elemento que sustenta el tablero y se pueden construir con el tablero en posición inferior, en posición superior o en

posición intermedia respecto a la ubicación de este, pero siempre se ha de disponer de estribos capaces de absorber los empujes creados por dichos arcos.

**Figura 8. Puente Flandes – Girón, Santander.**



Fuente: VANGUARDIA Habilitan tráfico sobre puentes a Girón [en línea] disponible en: <http://www.vanguardia.com/economia/local/169328-habilitan-el-trafico-sobre-puentes-a-giron>

**3.2.4. Puentes atirantados.** Los puentes atirantados consisten de un tablero soportado por cables rectos e inclinados (Tirantes) fijados en los mástiles. Se han tomado más comunes debido a su economía y estabilidad para vanos grandes (200 a 1000m) ero principalmente por la apariencia tractiva. Tienen tres partes principales: Tablero, mástiles y tirantes. El tablero es soportado elásticamente en varios puntos a lo largo de su extensión por cables inclinados (Tirantes) fijados en el mástil. Las cargas permanentes y móviles son transmitidas al mástil mediante los tirantes con una estructura reticulada, con tirantes traccionados mientras el mástil y el tablero quedan comprimidos <sup>[17]</sup>.

**Figura 9. Partes fundamentales de un puente atirantado.**



Fuente EXPERIMENTALES Física y vías de comunicación [en línea] disponible en: <http://experimentales.cosdac.sems.gob.mx/materiales/fisica-y-vias-de-comunicacion-2/>

Los principales métodos constructivos de los puentes y viaductos atirantados son [17]:

- **Cimbramiento General:** Este método es usado, generalmente, cuando el puente está localizado en una zona de baja altura y suelo con buena capacidad resistente. El cruce no está congestionado con rutas o vías de tren, el puente no tiene que atravesar una corriente de agua.
- **Dovelas Sucesivas:** El método consiste en la construcción de la obra en segmentos (dovelas), formando trechos que avanzan sobre el vano a ser vencido. Existen dos técnicas básicas para la construcción de puentes mediante el sistema de dovelas sucesivas; una de ellas emplea dovelas prefabricadas, las cuales se levantan mediante grúas y otros equipamientos y la otra técnica consiste en construir dovelas fundidas “In situ”.

Cuando las dovelas son fundidas “In situ”, el hormigonado es ejecutado con auxilio de encofrados deslizantes ancladas en los trechos ya construidos y cuando se alcanza la resistencia del proyecto establecida las dovelas son postensadas.

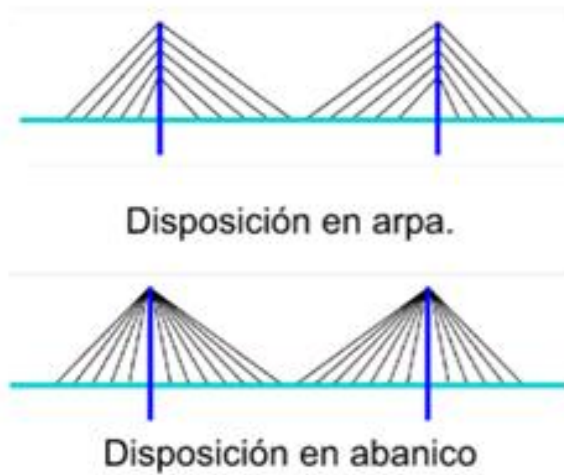
Las dovelas prefabricadas son transportadas por medio de cimbras hasta la extremidad del voladizo, donde son protegidas longitudinalmente. Entre las dovelas se puede usar o no adhesivo epóxico que sirve para lubricar la superficie, disminuir los efectos de las imperfecciones de las juntas entre las mismas, impermeabilizar la junta y contribuir para la transmisión de las tensiones provenientes de los esfuerzos cortantes.

- **Lanzamientos Progresivos:** En este método, la superestructura es fabricada en las márgenes de la obra y es empujada para su posición final a lo largo de los vanos. Esta se comporta como un voladizo a medida que va avanzando hasta encontrar el próximo apoyo. Cada segmento es ejecutado sobre formas metálicas fijas, siendo hormigonado contra el anterior ya concluido, permitiendo continuidad en la armadura de la región de las juntas.

La estructura es empujada por gatos hidráulicos y sobre aparatos de apoyo deslizantes de teflón sobre los pilares que, dependiendo del tamaño del vano, pueden ser permanentes o provisorios. Una vez que el tramo delantero de la estructura queda en voladizo hasta alcanzar los apoyos, se utiliza una cimbra a este lugar que alcanza el apoyo antes de la estructura disminuyendo el voladizo y reduciendo el momento negativo durante la fase constructiva.

El conjunto de tirantes soportados por una torre tiene disposición geométrica. Cuando se trata de tirantes paralelos se denomina disposición en arpa. Cuando tienen una disposición radial, se denomina en abanico.

**Figura 10. Clasificación de puentes atirantados.**



Fuente: EXPERIMENTALES física y vías de comunicación [en línea] disponible en: <http://experimentales.cosdac.sems.gob.mx/materiales/fisica-y-vias-de-comunicacion-2/>

En la figura 11 se ilustra el Viaducto de la carrera 9ª en Bucaramanga.

**Figura 11. Viaducto carrera 9ª – Bucaramanga, Santander.**

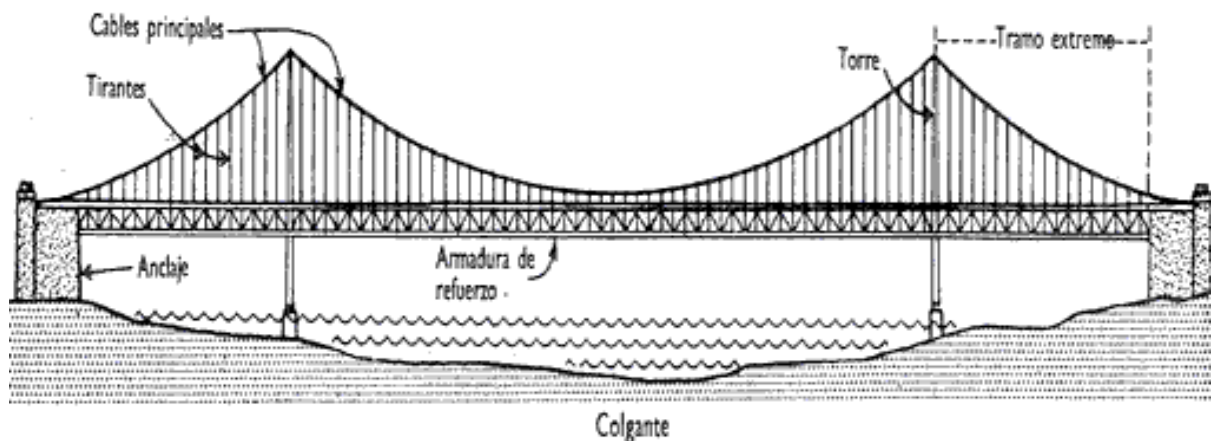


Fuente: VERSION ANTIGUA Acreditaciones para prensa inauguración viaducto La Novena [en línea] disponible en: <http://versionantigua.bucaramanga.gov.co/Prensa/post/2015/04/08/ACREDITACIONES-PARA-PRENSA-Inauguracion-del-Viaducto-La-Novena.aspx>

**3.2.5. Puentes colgantes.** Un puente colgante es un puente sostenido por un arco invertido formado por numerosos cables de acero, del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales.

El funcionamiento de un puente colgante se basa en cuatro elementos: las torres, los anclajes, los cables y el tablero. El tablero debe ser lo más rígido posible ante la torsión con el fin de contrarrestar los efectos del viento los cuales son bien conocidos con el colapso del tristemente célebre puente de Tacoma Narrows. Los finales de los cables se aseguran en anclajes de concreto [2].

**Figura 12. Partes fundamentales de un puente colgante.**



Fuente: INGENIERO CIVIL INFO Puentes suspendidos por cables [en línea] disponible en: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/puentes-sustentados-por-cables.html>

El cable es un elemento flexible, lo que quiere decir que no tiene rigidez y por tanto no resiste flexiones. Si se le aplica un sistema de fuerzas, tomará la forma necesaria para que en él sólo se produzcan esfuerzos axiales de tracción; si esto no fuera posible no resistiría. Por tanto, la forma del cable coincidirá forzosamente con la línea generada por la trayectoria de una de las posibles composiciones del sistema de fuerzas que actúan sobre él. Esta línea es el funicular del sistema de cargas, que se define precisamente como la forma que toma un hilo flexible cuando se aplica sobre él un sistema de fuerzas. La curva del cable de un puente colgante es una

combinación de la catenaria, porque el cable principal pesa, y de la parábola, porque también pesa el tablero; sin embargo, la diferencia entre ambas curvas es mínima, y por ello en los cálculos generalmente se ha utilizado la parábola de segundo grado [2].

El cable principal es el elemento básico de la estructura resistente del puente colgante. Su montaje debe salvar la luz entre las dos torres y para ello hay que tenderlo en el vacío. Esta fase es la más complicada de la construcción de los puentes colgantes.

Inicialmente se montan unos cables auxiliares, que son los primeros que deben salvar la luz del puente y llegar de contrapeso a contrapeso. La mayoría de los grandes puentes colgantes están situados sobre zonas navegables, y por ello permite pasar los cables iniciales con un remolcador; pero esto no es siempre posible. Como el sistema de cargas de los puentes es variable porque lo son las cargas de tráfico, los puentes colgantes en su esquema elemental son muy deformables. Este esquema elemental consiste en el cable principal, las péndolas, y un tablero sin rigidez, o lo que es lo mismo, con articulaciones en los puntos de unión con las péndolas. En la mayoría de los puentes colgantes, las péndolas que soportan el tablero son verticales [2].

El montaje del tablero se ha hecho en muchos de los grandes puentes colgantes por voladizos sucesivos, avanzando la ménsula desde una péndola a la siguiente, de la que se cuelga; el avance se hace simétricamente desde la torre hacia el centro del vano principal y hacia los extremos. Desde el propio tablero ya construido se van montando piezas más o menos grandes, elevándolas mediante grúas situados sobre él, hasta cerrar el tablero en el centro del vano. Así se construyó el puente George Washington, el Golden Gate y muchos de los puentes modernos japoneses.

Otro sistema de montaje, que se ha utilizado en la mayoría de los últimos grandes puentes, y en todos los de sección en cajón, consiste en dividir el tablero en dovelas de sección completa que se llevan por flotación bajo su posición definitiva, y se elevan a ella desde los cables principales mediante cabrestantes; una vez situadas en su posición definitiva se cuelgan de las péndolas. La secuencia de montaje en este caso es generalmente el inverso del anterior; se empiezan a colgar las dovelas centrales, y se avanza simétricamente hasta llegar a las torres. Así se construyó el puente doble de la Bahía de San Francisco, el Bay Bridge, terminado en 1936 [2].

Los puentes suspendidos usualmente son usados para manejar luces de más de 300m y son reconocidos por su elegante estética [2].

En la figura 13 se ilustra el puente GOLDEN GATE, uno de los puentes colgantes más famosos del mundo, ubicado en San Francisco – California.

**Figura 13. Puente Golden Gate - San Francisco, California.**



Fuente: CIVILPUENTESIUPSM tipos de puentes [en línea] disponible en: <http://civilpuentesiupsm.blogspot.com.co/2012/07/tipos-de-puentes.html>

Actualmente en Suramérica se construye el puente Chacao, en la región de los lagos, Chile. Este proyecto consiste en la construcción de un puente colgante de

2,6km, uno de los de mayor envergadura de América Latina, que unirá la Isla Grande de Chiloé con el continente <sup>[46]</sup>.

**Figura 14. Puente colgante de Chacao - región de los lagos, Chile.**



Fuente: BNAMERICAS consorcio puente chacao [en línea] disponible en:  
<https://www.bnamericas.com/company-profile/es/consorcio-puente-chacao-consorcio-puente-chacao>

#### **4. TECNICAS Y METODOS DOMINANTES DE CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO EN COLOMBIA**

La construcción de puentes de luces medias en Colombia está representada principalmente por un sistema constructivo predominante, como es el método de voladizos sucesivos fundidos in situ.

En Colombia no se ha manejado el concepto de la construcción de voladizos sucesivos mediante el uso de dovelas prefabricadas. Esto se puede deber a varias razones, puede ser porque la inversión que se tiene que hacer es muy alta y, además, por lo general no se tiene el concepto de que se utilice para varios puentes en un mismo proyecto, ya que no se diseñan puentes tipo. Otra razón puede ser la falta de información con respecto al proceso constructivo, y en algunos casos no se puede contar con los equipos necesarios ni con zonas cercanas al puente que permitan la ubicación de un parque de fabricación de las dovelas <sup>[32]</sup>.

##### **4.1. PUENTES EN VOLADIZOS SUCESIVOS**

La construcción en voladizos, tanto prefabricada como fundida en sitio, ha eliminado la necesidad de utilizar obra falsa costosa, lo que antes convertía a los puentes de concreto antieconómicos, en zonas como altos valles o canales navegables.

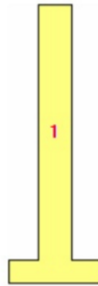
El procedimiento de construcción de puentes de hormigón pretensado por voladizos sucesivos, consiste en la construcción equilibrada a un lado y el otro de cada pila de tramos de tablero llamados dovelas, de una longitud entre 2.4m a 5.0m aproximadamente. Usualmente las dovelas cercanas a las pilas por tener mayor altura y por ende mayor peso, tienen una longitud del orden de 2.40m, mientras las

dovelas del centro de la luz por tener menor altura y peso se pueden fundir en longitudes del orden de 5.0 m [2].

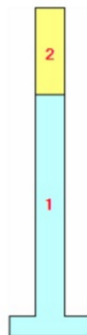
**4.1.1. Proceso constructivo.** El objetivo de construir un puente de gran luz mediante voladizos sucesivos, es el de dividir la construcción de un puente grande en varias etapas pequeñas casi repetitivas de segmentos de ese puente. Una vez contruidos todos los segmentos, la estructura deja de trabajar en voladizo y pasa a trabajar de acuerdo al modelo previsto en el diseño [34].

El proceso empleado con mayor frecuencia en los puentes en voladizos sucesivos consiste en [34]:

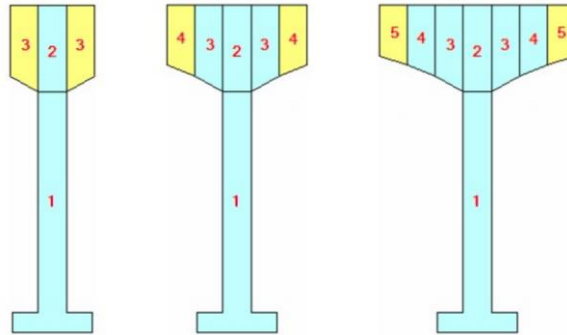
- Construir Inicialmente las pilas



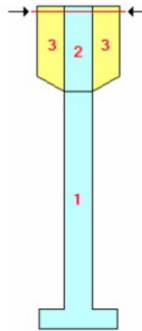
- Encima de las pila se construye la dovela de arranque o dovela cero para los voladizos sucesivos, y los 2 elementos se integran mediante cables de preesfuerzo, o mediante barras de acero para hormigón armado.



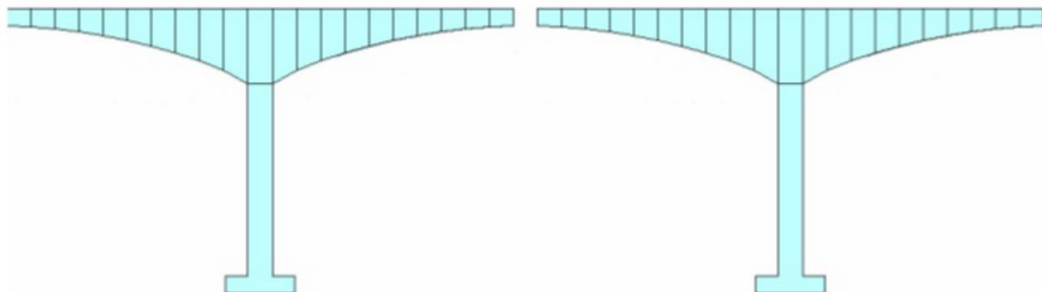
- A partir de este punto se comienza a construir simétricamente (a ambos lados de la pila) segmentos de voladizos.



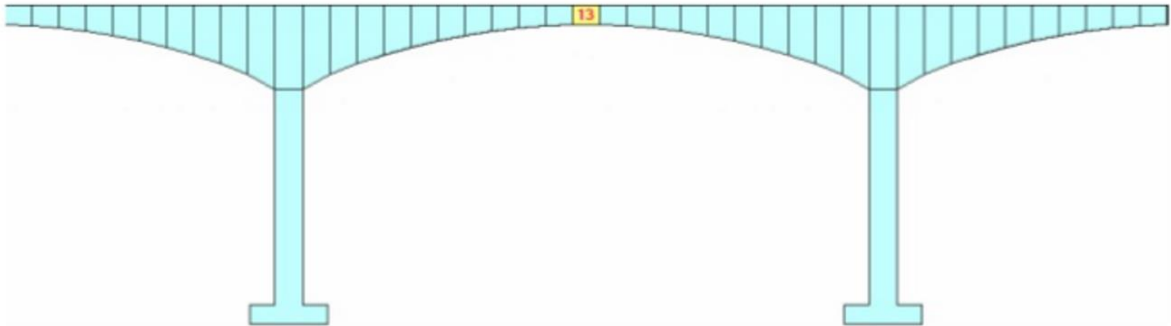
- Para integrar los segmentos a la estructura previamente construida se utiliza el tensionamiento de los cables de preesfuerzo ubicados mayoritariamente en la parte superior de cada segmento.



- Se continúa el procedimiento construyendo los voladizos sucesivos hasta aproximarse a una dovela de distancia a la pila adyacente.



- Se construye la dovela de continuidad, o dovela de cierre, para integrar las pilas y voladizos adyacentes.

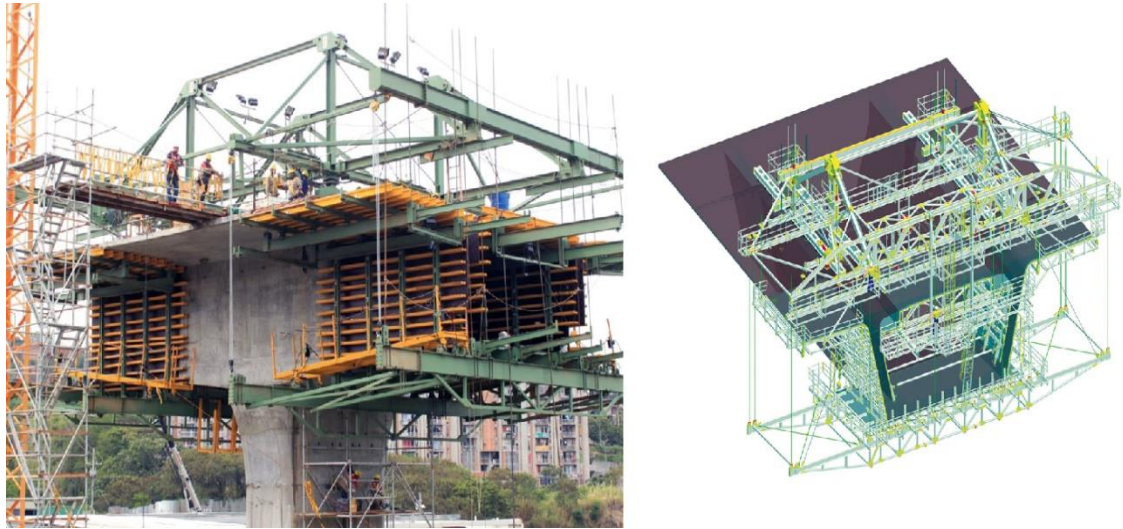


Dado que el preesfuerzo provisto por los cables es vital para el funcionamiento del puente, durante la construcción de cada dovela es necesario embeber en el hormigón los ductos que permitan conducir los cables para el postensado, y sus dispositivos de anclaje <sup>[34]</sup>.

La fabricación de las dovelas para los voladizos puede realizarse mediante carros de avance ubicados sobre las pilas y sus volados (Fundidos in situ), o pueden prefabricarse las dovelas e izarlas mediante grúas.

**4.1.2. Voladizos sucesivos fundidos “IN SITU”.** Para construir estas dovelas se utilizan carros de avance o una viga de la cual se cuelgan las formaletas. En los casos de carro de avance estos se apoyan en la parte ya construida mediante cerchas y vigas metálicas. Una vez el concreto de cada dovela haya adquirido cierta resistencia, se tensionará un juego de cables, y así sucesivamente en cada dovela.

**Figura 15. Carros de avance.**



Fuente: ALSINA Carros voladizos sucesivos [en línea] disponible en: <http://www.alsina.com/solution/carros-voladizos-sucesivos/>

**Figura 16. Puente por voladizos sucesivos fundidos “In Situ” - viaducto tramo Cisneros-Loboguerrero, vía Buga-Buenaventura, Valle.**



Fuente: 360GRADOS EN CONCRETO puentes en concreto por voladizos sucesivos vía Buga Buenaventura [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/puentes-en-concreto-por-voladizos-sucesivos-via-buga-buenaventura/>

**4.1.3. Voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas.** El método consiste en realizar las dovelas en las que se divide el tablero en un parque de prefabricación situado cerca de la ubicación del puente. Posteriormente se colocan en su posición con una estructura auxiliar metálica que se apoya inicialmente en la pila (lanzador); partiendo de la primera dovela sobre la pila, el lanzador coloca las dovelas adyacentes, de forma alterna, en el lado dorsal y frontal, hasta completar todo el voladizo (T de la pila). Esta T se conecta al final de su brazo dorsal con el puente ya construido mediante una dovela hormigonada “in situ”. El lanzador entonces se avanza hasta apoyarse en la siguiente dovela y se repite el proceso [35].

**Figura 17. Encolado de dovelas prefabricadas en la construcción por voladizos sucesivos.**



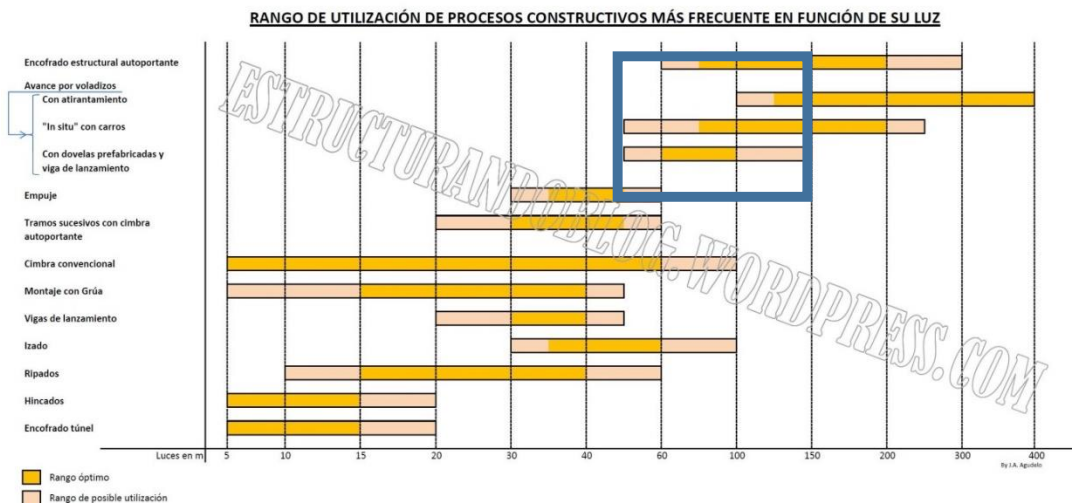
Fuente: MAKEMEFEEED Encolado de dovelos prefabricadas en la construcción de voladizos sucesivos [en línea] disponible en: <https://es.makemefeed.com/2016/04/27/encolado-de-dovelas-prefabricadas-en-la-construccion-por-voladizos-sucesivos-2050741.html>

## 5. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN EVOLUTIVA DE PUENTES DE LUCES MEDIAS A NIVEL INTERNACIONAL Y SU POSIBLE APLICACIÓN A COLOMBIA.

El proceso evolutivo es frecuente en la construcción de puentes de hormigón de medianas luces. Tal es el caso de los puentes construidos vano a vano, fundidos “in situ”, como los prefabricados, de los cuales se hablará más en profundidad en el siguiente capítulo.

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.

**Figura 18. Rango de utilización de procesos constructivos más frecuente en función de su luz.**



Fuente: ESTRUCTURANDO Una de puentes tipologías y procesos constructivos [en línea] disponible en: <http://estructurando.net/2012/03/27/una-de-puentes-tipologias-y-procesos-constructivos-versus-luz/>

Por tanto, previamente a la definición del método de construcción evolutivo Vano a vano fundido “in situ” y prefabricado, se procederá a la definición de otros métodos presentes para su posible aplicación en la ingeniería nacional.

## **5.1. CONSTRUCCION POR TRASLACION VERTICAL Y HORIZONTAL**

Entre las posibilidades que la tecnología actual nos ofrece para construir puentes está la de realizarlos en un lugar en que la construcción sea fácil, ya sea por accesos, transporte de medios, materiales, confortabilidad de operaciones, etc. Y una vez construidos trasladados a su situación definitiva.

Anteriormente esta técnica estaba reservada a puentes metálicos, de poco peso en relación con los de hormigón, pero con la aparición de grandes gatos hidráulicos que facilitan el traslado de elementos de muy elevado peso, estos últimos se han ido incorporando a la tipología de puentes resueltos mediante esta técnica.

Se construye el puente, total o parcialmente, fuera de su posición definitiva y después se traslada a su posición definitiva.

Dentro de esta familia de procedimientos constructivos se puede distinguir la construcción de puentes con vigas prefabricadas, tanto T como cajón, los puentes empujados, tanto longitudinal como transversalmente, los puentes girados y los trasladados por flotación. Asimismo, y una vez colocado una parte del puente en su posición definitiva, este puede servir de apoyo para completar la sección mediante la construcción “in situ” o mediante elementos prefabricados del resto de elementos (por ejemplo, el hormigonado de la losa sobre las vigas prefabricadas) <sup>[6]</sup>.

## 5.2. PUENTES CONSTRUIDOS POR IZADO DE VIGAS PREFABRICADAS

La industrialización en la fabricación de vigas de hormigón pretensado permite la construcción de puentes de tramos simples. Son vigas de sección normalmente en T, en I e incluso en cajón que permiten un intervalo amplio de luces. Los cantos de estas secciones varían según la luz y la disponibilidad de elementos prefabricados en el mercado, entre  $L/18$  y  $L/23$ . La luz óptima se sitúa entre los 30 y 40 metros, puesto que por encima de 50 metros los medios auxiliares de colocación deben estar ampliamente sobredimensionados. De forma excepcional podría llegarse a los 70 metros de luz. Esta tipología resulta de gran interés cuando el número de vigas a colocar es elevado (40 como mínimo) [6].

Una vez construidas en talleres, las vigas prefabricadas se izan mediante grúa hasta su posición definitiva.

**Figura 19. Izaje de vigas prefabricadas.**



Fuente: 360GRADOS EN CONCRETO Construcción de puentes con elementos prefabricados de concreto [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/construccion-de-puentes-con-elementos-prefabricados-de-concreto-2/>

### **5.3. PUENTES EMPUJADOS**

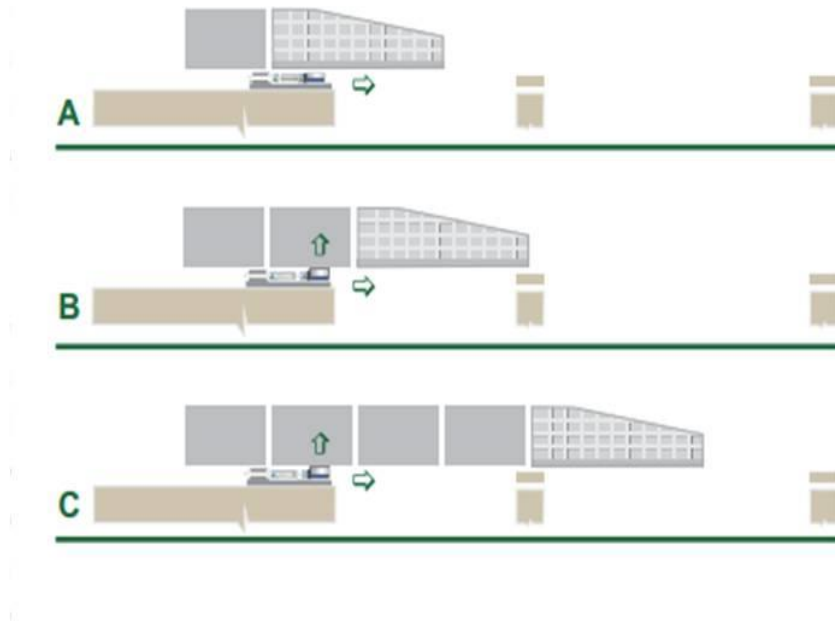
El método de empuje, consiste en la ejecución (completa o parcial) del tablero y su desplazamiento sobre las pilas hasta su posición definitiva.

El procedimiento consiste en ir ejecutando el tablero en un extremo del puente, en segmentos no mayores de la mitad de la longitud del vano máximo, para irlo empujando hasta su posición definitiva mediante la ayuda de gatos hidráulicos de gran potencia.

Aunque en sus orígenes el sistema era exclusivo de estructuras metálicas, también es posible aplicarlo a cajones de hormigón, tanto prefabricados como fundidos in situ.

Económicamente es un procedimiento con elevados costos, principalmente asociados a la instalación del parque de fabricación junto a la obra, por tanto, en general, solo resulta interesante para puentes de longitud superior a los 300-400m, donde se empiezan a amortizar los costos con la producción industrializada de los segmentos <sup>[6]</sup>.

**Figura 20. Sistema de puentes empujados.**



Fuente: MEXPRESA Empujados principio [en línea] disponible en:  
<http://www.mexpresa.com/productos/empujados.php#principio>

## **6. PUENTES CONSTRUIDOS VANO A VANO**

Vano a Vano es un método de construcción relativamente nuevo. Hoy en día es considerado como un método económico y rápido de construcción disponible para puentes y viaductos largos con vanos individuales de longitudes cortas y medias <sup>[16]</sup>.

### **6.1. DESCRIPCIÓN**

Es un método en el cual se construye la superestructura del puente por vanos mediante el uso de cimbras, ya sea por segmentos prefabricados o por vanos fundidos in situ.

La cimbra es aquella estructura que tiene como misión soportar a otra estructura provisionalmente mientras se está ejecutando y mientras adquiere la capacidad de soportar su propio peso (hecho que se consigue cuando el hormigón consigue resistencia suficiente, se introduce el pretensado, etc.).

A partir de esta definición se pueden definir las cimbras autolanzables, autocimbras o cimbras de avance como equipos auxiliares adecuados para la construcción de tableros de viaductos de luces medias y gran longitud. Hoy en día se utilizan con mucha frecuencia tanto para la construcción de viaductos de ferrocarril como de carretera <sup>[1]</sup>.

**Figura 21. Cimbra autolanzable, Viaducto de Corgo - Vila Real, Portugal.**



Fuente: BERD Movale scaffolding systems [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/productos/movable-scaffolding-system/>

Las autocimbras son de carácter industrial, con parámetros de diseño y fabricación muy controlados y detallados, y sirven al mismo tiempo como plataformas de trabajo y protección durante la realización de los trabajos de pretensado y las otras operaciones auxiliares que se realizan durante la ejecución del tablero de los puentes vano a vano.

Durante la fase de hormigonado del tablero las cimbras autolanzables se apoyan en las pilas mediante ménsulas metálicas o montantes (en alguna ocasión también se pueden apoyar sobre torres auxiliares) y en el extremo del puente ya construido.

Una vez el hormigón del tablero ya ha fraguado y la sección transversal de éste es autoportante (con el pretensado del propio tablero ya tesado) se procede a mover la cimbra de un vano al inmediatamente posterior según el sentido de avance de la cimbra. Este movimiento se conoce como lanzamiento o avance de la cimbra.

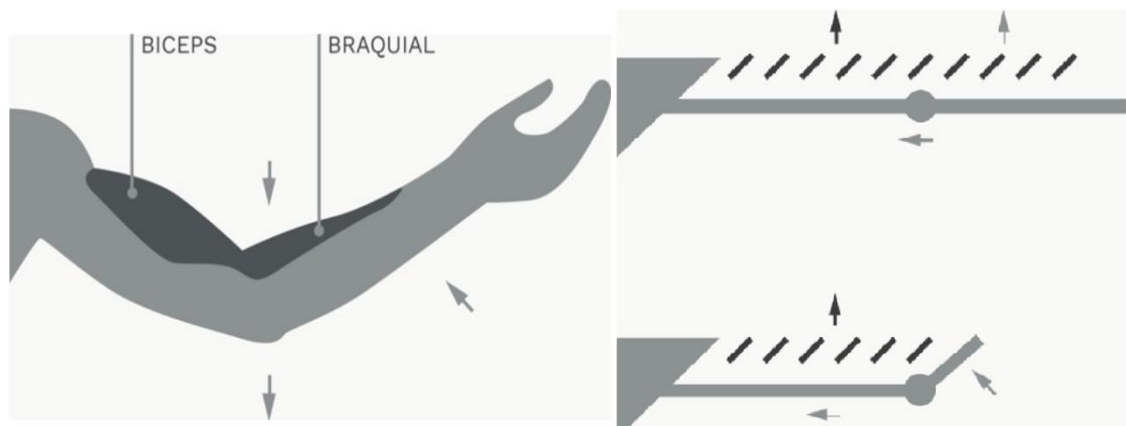
Durante el lanzamiento la cimbra apoya en las ménsulas colocadas en las pilas adyacentes al vano ejecutado (no en el cuelgue) y avanza con un sistema de gatos hidráulicos hasta que la parte delantera de la viga (llamada patín) apoya sobre la ménsula de la pila siguiente. De este modo la posición de los apoyos en el conjunto

estructural de la cimbra va cambiando progresivamente, hasta llegar a la configuración inicial de apoyos una vez la cimbra se centra en el siguiente vano a hormigonar.

Existen varios tipos de cimbras autolanzables clasificables según la posición de las vigas estructurales (sobre o bajo tablero), según el sistema de ejecución del tablero (cimbras para hormigonado in situ o cimbras para el ensamblado de dovelas prefabricadas) o según el tipo de sección del tablero a hormigonar (secciones tipo losa aligerada, secciones cajón, secciones bi-nervadas) [6].

En la construcción de estos puentes, existe una empresa portuguesa (BERD) que ha implementado un sistema de pretensado inteligente, inspirado en los músculos humanos llamado OPS (Organic prestressing system). Consiste en un sistema de pretensado activo que se adapta automáticamente, incrementando o disminuyendo las fuerzas de acuerdo con la variación de carga viva actuante en la estructura. No es más que un sistema en que la tensión aplicada se ajusta automáticamente a las cargas actuantes mediante un sistema de control, con el fin de reducir deformaciones en la estructura y minimizar tensiones debidas a cargas vivas. Este sistema permite el diseño de estructuras más ligeras y más delgadas con los mismos materiales estructurales [6].

**Figura 22. Sistema estructural muscular.**



Algunas de las ventajas del sistema OPS son: la realización de operaciones optimizadas, la reducción del tiempo del ciclo de construcción, la construcción con equipos más livianos, funcionales y seguros, la reducción en el consumo de acero y la posibilidad de alcanzar nuevos límites en la gama de vanos de grandes luces [40].

Dependiendo de las características del puente (forma y variedad de pilas, radio de curvatura, número de vanos, variación en la longitud de la extensión, secuencia de construcción deseada, características de la geografía, etc.) se puede elegir entre un sistema de andamios móviles, ya sean inferiores, superiores o de doble vano entre otros.

Cabe resaltar que la construcción vano a vano suele ser costosa por los elevados precios de las cimbras autoportantes o vigas lanzadoras y es por este motivo que se justifica el método en estructuras de gran longitud o en entornos urbanos donde los trabajos deban ejecutarse a un ritmo muy elevado de construcción.

## **6.2. TIPOLOGIAS DE AUTOCIMBRAS**

Gracias al desarrollo de esta tecnología de construcción durante los últimos años, han ido apareciendo multitud de subtipos de autocimbras. Según [6], pueden clasificarse:

### **6.2.1. Según su posición respecto al tablero.**

#### **Cimbras Inferiores**

En este caso las vigas longitudinales principales se sitúan debajo del tablero que se va a construir. El encofrado se apoya en las vigas longitudinales a través de

elementos transversales que reproducen la sección transversal del tablero. Con este sistema se debe resolver la interferencia con las pilas durante el avance de la cimbra. La disposición de cimbra por abajo tiene la ventaja de dejar la parte superior libre para la introducción del armado de hierro [6].

Para este tipo, es necesario disponer de un galibo según los distintos fabricantes.

**Figura 23. Cimbras inferiores.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/ops/>

### **Cimbras Superiores**

En este caso las vigas longitudinales se sitúan por encima del tablero. De estas vigas cuelgan barras que soportan la estructura donde se apoya el encofrado. Los apoyos se hacen en las pilas dejando ventanas en el tablero.

La principal ventaja de este sistema es que permite trabajar en estructuras con gálibo estricto. Además posibilita la ejecución de tableros con menores radios que en el caso de la solución de cimbras inferiores.

Por el contrario, su desventaja más reseñable es la interferencia que suponen los cuelgues en la colocación del armado de hierro [6].

**Figura 24. Cimbras superiores.**



Fuente BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/ops/>

**6.2.2. Según el sistema de ejecución.** Según el sistema de ejecución del tablero, se pueden clasificar en [6]:

- Autocimbras para hormigonado in situ.

- Autocimbras para dovelas prefabricadas vano a vano. En este caso sobre las vigas principales longitudinales se colocan carros sobre los que apoyan (o cuelgan) las dovelas.

**6.2.3. Según el tipo de sección del tablero.** Desde el punto de vista del tipo de sección del tablero que se va a hormigonar existen diferentes tipos como <sup>[6]</sup>:

- Sección cajón
- Sección de losa aligerada
- Sección T
- Sección binervada

### **6.3. TIPOS DE CONSTRUCCION VANO A VANO**

Al igual que el método de voladizos sucesivos, existen dos tipos de construcción vano a vano principalmente: Vano a vano con dovelas prefabricadas y Vano a vano fundido en sitio:

**6.3.1. Vano a vano fundido IN-SITU.** En 1973 se utilizaron las primeras cimbras autolanzables en España en la supresión de pasos a nivel en Girona, de mano de la empresa Mecanotubo, y poco a poco fueron evolucionando permitiendo la construcción de viaductos de mayores luces <sup>[6]</sup>.

**Figura 25. Primera cimbra autolanzable. España, 1973.**



Fuente: DOCPLAYER [en línea] disponible en: <http://docplayer.es/16674458-Projecte-o-tesina-d-especialitat.html>

Actualmente, es el procedimiento más sofisticado de construir puentes in situ y en él están totalmente automatizadas las operaciones de cimbrado, nivelación, ajuste del encofrado y descimbrado. Tiene además la gran ventaja de eliminar de la construcción la influencia del suelo. Sin embargo, supone una inversión muy elevada lo que las hace aptas únicamente para puentes muy largos, mayores de 600 metros o varios puentes de longitudes menores <sup>[6]</sup>.

Cabe destacar que los viaductos construidos mediante cimbras de avance no permiten la construcción de vanos de canto variable. Esto supone que para luces elevadas sea necesario el uso de grandes cantos para garantizar la resistencia del viaducto desaprovechando material. Así pues, existen ciertas cotas superiores respecto a la rentabilidad económica en el diseño de viaductos considerando el uso de este tipo de cimbras <sup>[6]</sup>.

Los tipos más comunes de autocimbras que se utilizan para la construcción de tableros de puentes hormigonados in situ son: las que se sitúan bajo el tablero (underslung) y las que se sitúan sobre éste (overhead) <sup>[6]</sup>.

En ambos casos se tratan de cimbras que permiten el hormigonado del tablero vano a vano y que son capaces de desplazarse por medios propios a cada posición de hormigonado. Durante el hormigonado, estas estructuras se sujetan en la pila delantera (sobre la que apoya el tramo de tablero que se está hormigonando) y en el tramo de tablero construido en la fase anterior.

La junta de construcción entre fases suele situarse a  $L/4$  o  $L/5$  de la pila; en la zona en que los momentos flectores en el tablero son menores. A una distancia de unos 2m de la junta es donde la autocimbra apoyará sobre el tablero cuando se realice el hormigonado y donde se transmitirán las cargas que deben considerarse en el proyecto constructivo del tablero y que son las responsables de que la ley de momentos de peso propio al final del proceso constructivo sea distinta que la que se obtendría si la estructura se construyera cimbrada al suelo <sup>[6]</sup>.

Con este procedimiento las luces mayores que se han construido alcanzan los 60 m. aunque su uso normal oscila desde los 30 a los 40 m ya que el coste de la cimbra crece mucho con la luz <sup>[6]</sup>.

## **PROCESO CONSTRUCTIVO**

Según las pautas marcadas por <sup>[6]</sup>, el proceso de construcción de cada vano suele seguir las siguientes fases:

- **AVANCE DE CIMBRA:** La parte posterior se cuelga del extremo del tablero ejecutado anteriormente, situándose entre un cuarto y un quinto de la luz del vano a construir, coincidiendo con el punto de momento flector mínimo. Es lo que se denomina cuelgue trasero de la cimbra.

De esta manera los movimientos del extremo del tablero durante el hormigonado no causan discontinuidades con el hormigón del siguiente vano. Se apoya además en las siguientes pilas mediante cerchas metálicas.

- **CORRECCION DE CONTRAFLECHAS:** cuando sea necesario, mediante el ajuste de tornillos roscados o puntales regulables, para compensar las deformaciones elásticas producidas en la cimbra debida al propio hormigonado del vano.
- **ARMADO DEL TABLERO:** En secciones cajón se realiza el armado de la losa inferior y de las almas, posteriormente se avanza el encofrado interior que ha quedado retrasado en el vano anterior. Finalmente se arma la losa superior del cajón y los voladizos. Durante las operaciones de armado se han de montar las vainas y dar continuidad al pretensado con los conectadores. Para un óptimo rendimiento hay que estudiar la mejor solución para la prefabricación del armado.
- **HORMIGONADO DEL TABLERO:** lo más habitual es el hormigonado completo de la sección del tablero en una sola fase. Sin embargo, dependiendo de la capacidad de la cimbra es posible diseñar procesos distintos de hormigonado teniendo siempre en cuenta la deformabilidad de la cimbra.
- **TENSADO:** Cuando el hormigón haya alcanzado la resistencia requerida se procede al tensionamiento de los cables.
- **AVANCE DE LA CIMBRA:** Para realizar esta maniobra, denominada lanzamiento, sin apoyos intermedios es necesario contar con una longitud cimbra de al menos el doble de la longitud del vano. Para salvar la pila se abren los cuchillos y se pueden abatir los fondos. El movimiento se realiza gracias a la actuación de gatos hidráulicos.

Cuando el tramo está completo, la autocimbra del ensamblaje se baja y se traslada al tramo siguiente, donde comienza el ciclo de construcción hasta que el puente esté completo.

## PRINCIPALES REALIZACIONES

En el mundo existen algunos puentes construidos bajo este método de vano a vano fundido in situ:

- Puente **CREEK VALLEY**: Construido en Nitra, Eslovaquia entre los años 2010 - 2011, con una longitud Total de 957m y longitudes de vanos tipo de 69m. Se utilizó tipología de cimbra autolanzable superior con un rendimiento de ciclos de 20 días. La duración de la construcción fue de 55 semanas <sup>[37]</sup>.

**Figura 26. Puente Creek Valley - Nitra, Eslovaquia.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/hostovsky-creek-valley/>

- **VIADUCTO DE CORGO**: Construido en Vila Real, Portugal entre los años 2011 -2012, con una longitud Total de 1278m y longitudes de vanos tipo de 60m. Se utilizó tipología de cimbra inferior con un rendimiento de ciclos de 10 días. La duración de la construcción fue de 63 semanas <sup>[38]</sup>.

**Figura 27. Viaducto de Corgo – Vila real, Portugal.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www..eu/es/proyectos/corgo/>

- Puente **RÍO CABRIEL**: Construido en Valencia, España entre los años 2009 - 2010, con una longitud Total de 520m de vanos tipo de 70m. Se utilizó tipología de cimbra autolanzable superior con un rendimiento de ciclos de 7 días por cada dos vanos. La duración de la construcción fue de 48 semanas <sup>[39]</sup>.

**Figura 28. Puente Río Cabriel – Valencia, España.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/rio-cabriel/>

- Puente **D1 FRICOVCE SVINIA**: Construido en Presov, Eslovaquia entre los años 2013 -2014, con una longitud Total de 167.1m más 254.6m de vanos tipo de 45m. Se utilizó tipología de cimbra autolanzable superior con un rendimiento de ciclos de 16 días. La duración de la construcción fue de 48 semanas <sup>[40]</sup>.

**Figura 29. D1 Fricovce Svinia - Presov, Eslovaquia.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/d1-fricovce-svinia/>

- Puente **D1 JABLONOV - JANOVCE**: Construido en Presov, Eslovaquia entre los años 2013 -2014, con una longitud Total de 412.1m más 364.6m de vanos tipo de 65m. Se utilizó tipología de cimbra autolanzable superior con un rendimiento de ciclos de 14 días. La duración de la construcción fue de 58 semanas [41].

**Figura 30. D1 Jablonov – Janovce - Presov, Eslovaquia.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/d1-janovce-jablonov/>

- Puente **OPATOVICKY CANAL**: Construido en Pardubice, Republica Checa entre los años 2010 -2011, con una longitud Total de 253.3m más 223.9m de vanos tipo de 41.5m. Se utilizó tipología de cimbra autolanzable superior con un rendimiento de ciclos de 14 días. La duración de la construcción fue de 68 semanas [42].

**Figura 31. Opatovický Canal - Pardubice, República Checa.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/opatovice/>

**6.3.2. Vano a vano prefabricado.** La construcción prefabricada de puentes vano a vano, puede ser mediante dovelas previamente ensambladas o bien de un vano completo prefabricado. La construcción del vano mediante dovelas prefabricadas supone ensamblar dichas dovelas sobre una cimbra auxiliar que se apoya sobre las pilas del vano, realizando posteriormente la transferencia del tramo del tablero formado con el resto de la estructura. En cambio, la construcción de un vano completo normalmente se realiza en tramos metálicos o mixtos (la losa se realiza en una segunda fase), estando condicionada la operación por la capacidad de los medios de elevación.

El puente Long Key, en Florida (Muller, 1980), se construyó mediante dovelas prefabricadas. En este caso se dispuso una viga metálica triangulada entre las pilas que actuaba como cimbra y sobre ella se colocaban una a una las dovelas mediante grúa. Posteriormente se unían las dovelas mediante el pretensado, apoyándose el vano sobre las pilas y descargando la cimbra. En el caso del puente de Seven Mile (Florida, 1978), las dovelas se ensamblaron sobre una pontona flotante, izándose posteriormente <sup>[18]</sup>.

**Figura 32. Puente Long Key, Layton, Florida (1982).**



Fuente: VICTORYEPES [en línea] disponible en:  
<http://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/14/construccion-prefabricada-de-puentes-vano-a-vano/>

La otra opción es el montaje del vano de una sola pieza. Esta posibilidad sólo sería rentable en el caso de una repetición elevada en el número de vanos, pues los medios auxiliares de elevación son muy costosos. En tramos de hormigón, esta forma de construir deriva de la evolución de los tableros de vigas artesas, dejando la incorporación de la losa superior en una segunda fase, de igual forma que en las estructuras mixtas. Un ejemplo de construcción con vigas por vanos completos es el viaducto en el enlace A3-M45 de Madrid (Álvarez et al., 2008), donde las vigas se montan por vanos completos, con un peso máximo de 170 toneladas para una luz máxima de 41,6 m. Se trata en este caso de vigas artes que trabajan como isostáticas de forma provisional hasta que se da más adelante un pretensado de continuidad. Posteriormente se colocan las prelosas pretensadas colaborantes <sup>[18]</sup>.

**Figura 33. Viaducto de enlace A3-M45 de Madrid.**



Fuente VICTORYEPES [en línea] disponible en:  
<http://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/14/construccion-prefabricada-de-puentes-vano-a-vano/>

## **PROCESO CONSTRUCTIVO**

Vano a vano prefabricado es un método de construcción relativamente nuevo e históricamente asociada con la construcción en voladizos. Hoy en día es considerado como un método económico y rápido de construcción disponible para puentes y viaductos largos con vanos individuales de longitud media.

La superestructura se inicia sobre un apoyo extremo del puente y se construye continuamente colocando segmentos o el vano completo al otro extremo del vano. En el caso de los segmentos, estos pueden ser posicionados por un sistema de autocimbra.

Antes de colocar los segmentos o el tramo completo, según corresponda, la autocimbra se apoya sobre dos pilares. Dependiendo de la ubicación del puente, los segmentos son transportados por camión o barcaza hasta el tramo en construcción y cada segmento se coloca entonces sobre los apoyos deslizantes y se desplaza hacia su posición.

La etapa final se inicia entonces mediante la ejecución de tendones longitudinales de pretensado a través de conductos de segmentos y el tramo completo de pretensado. Cuando el tramo está completo, la autocimbra del ensamblaje se baja y se traslada al tramo siguiente, donde comienza el ciclo de construcción hasta que el puente esté completo <sup>[13]</sup>.

## **PRINCIPALES REALIZACIONES**

En el mundo existen algunos puentes construidos bajo este método de vano a vano prefabricados:

- Puente **ANITA GARIBALDI**: Construido en Laguna, Brasil entre los años 2013 - 2014, con una longitud Total de 2815m de vanos tipo de 50m. Se utilizó tipología de viga lanzadora superior con un rendimiento de ciclos de 4 días para el transporte e izado de dovelas. La duración de la construcción fue de 75 semanas <sup>[43]</sup>.

**Figura 34. Puente Anita Garibaldi, Laguna – Brasil.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/laguna/>

- Puente **LONG KEY**: Construido en Florida, USA (1982) mencionado anteriormente.
- Viaducto **A3M45**: Construido Madrid, España (2008) mencionado anteriormente.

#### **6.4. TENDENCIAS DE FUTURO**

En la actualidad, algunos de los mayores vanos construidos mediante el método MSS han sido los conseguidos por la empresa BERD, como lo son las líneas férreas

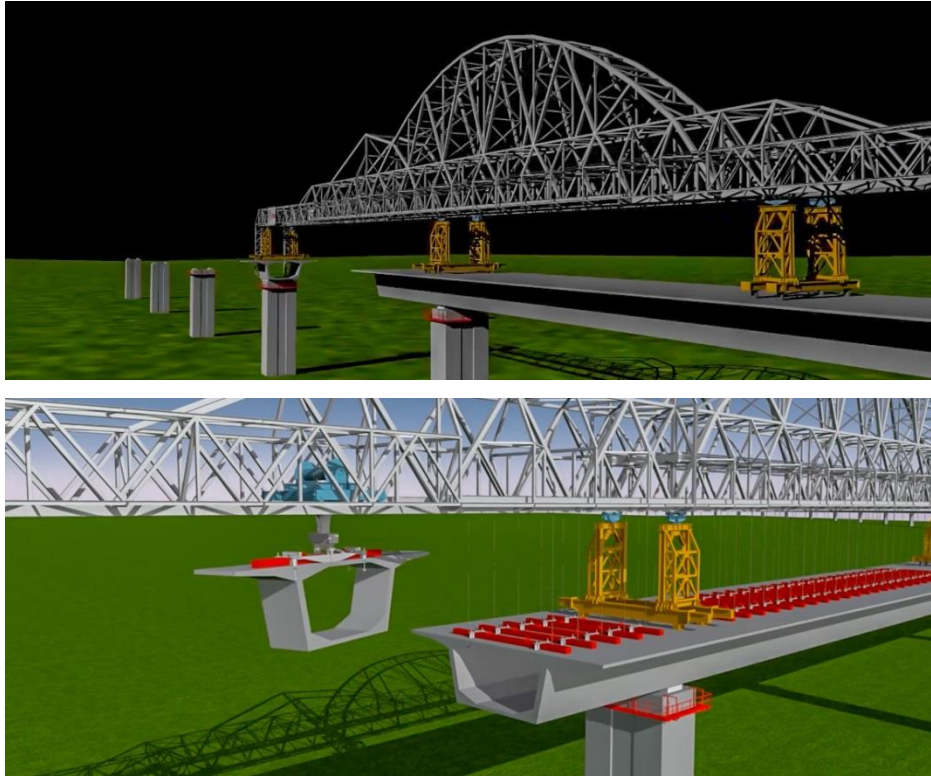
de alta velocidad “Ankara-Sivas” en Turquía. BERD ha suministrado, para la construcción de los 4 viaductos ferroviarios de alta velocidad de este proyecto (longitud total de 6151m), dos autocimbras (MSS): el M55-S para vanos corrientes de 45 metros y el M1-90-S para vanos de 90 metros.

En este proyecto, la solución de BERD ya ha permitido una reducción impresionante de costos en la construcción de estos viaductos. Sin embargo, la tendencia actual es a aumentar más aún dichas luces, para hacer de este método constructivo un método más rentable tanto en términos de rendimiento económico como de productividad en obra.

Así, en la última década, ha ido apareciendo una nueva generación de cimbras autolanzables para construcción evolutiva vano a vano provistas con el denominado Sistema de Pretensado Orgánico “OPS” (descrito anteriormente), gracias a la investigación y el proceso de desarrollo iniciado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto <sup>[6]</sup>.

Actualmente la empresa BERD prepara una lanzadora de dovelas prefabricadas para la construcción de tableros de puentes y viaductos de grandes vanos (Entre los 70 y 120 metros) Vano a Vano.

**Figura 35. Lanzadora Lg-M1 "Berd" para luces entre 70 y 120m.**



Fuente: BERD [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/productos/lauching-gantries/>

## 7. CONCLUSIONES

- El método de construcción de dovelas prefabricadas vano a vano disminuye el tiempo de ejecución en puentes de varias luces respecto a otros sistemas debido a que se pueden fabricar las dovelas al mismo tiempo que se van construyendo las pilas y estribos.
- Se recomienda utilizar el método vano a vano en proyectos de luces medias con gran cantidad vanos debido al costo elevado de la viga lanzadora o cimbra autoportante.
- La mayor ventaja del sistema Vano a vano respecto a otros sistemas constructivos de puentes de luces medias es la construcción a un ritmo muy elevado siendo así muy eficiente.
- El trabajo de construcción del método Vano a vano es repetitivo y resulta eficiente en la mano de obra.
- Una gran ventaja del método “in situ” respecto al método prefabricado es la menor utilización de pretensado; además, los errores que se puedan provocar 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.
- 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 para empezar con el nuevo vano.

- La construcción vano a vano suele ser costosa por los elevados precios de las cimbras autoportantes o vigas lanzadoras y es por este motivo que se justifica el método en estructuras de gran longitud o en entornos urbanos donde los trabajos deban ejecutarse a un ritmo muy elevado de construcción.

## CITAS BIBLIOGRAFIA

- [1] Costa Ros, M. (2012). Estudio de la viabilidad del uso de atirantamiento en cimbras de avance para puentes.
- [2] Montero V. Samuel. (2010). *Ingeniería de puentes*. doi: 978-958-8506-07-4
- [3] <http://www.concrete.org.uk/fingertipsnuggets.asp?cmd=display&id=381>, The concrete Society, Consultado el 06/07/2017.
- [4] Perzo R. (1972). *Los viaductos de accesos al puente de Martigues Francia*. España. Recuperado de:  
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/3188/3586>
- [5] López E. & Vanegas S. (2009). *Sistemas constructivos en puentes con pretensado extradadoso, Estado del Arte*. (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- [6] Luna C. (2014-2015) *Análisis y dimensionamiento de puentes contruidos por avance de cimbra*. (Trabajo de fin de grado en ingeniería civil). Escuela técnica superior de ingeniería, Sevilla, España.
- [7] Benjumea J. (2010). *Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes extradadosos: Visión general y estado del arte*. doi: 0718-5073.

- [8] <http://blog.360gradosenconcreto.com/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/>, Restrepo, Jorge Enrique. Argos, Blog 360º en concreto. *Hablemos de puentes de concreto en Colombia*. Consultado el 16/06/2017.
- [9] <http://blog.360gradosenconcreto.com/funciona-cuales-las-ventajas-la-construccion-puentes-concreto-autocimbra/>, Silva Omar. Blog 360º en concreto. *¿Cómo funciona y cuáles son las ventajas de construcción de puentes en concreto con autocimbra?* Consultado el 16/06/2017.
- [10] <http://blog.360gradosenconcreto.com/construccion-de-puentes-con-elementos-prefabricados-de-concreto-2/>, Blog 360º en concreto. *Construcción de puentes con elementos prefabricados de concreto*. Consultado el 16/06/2017.
- [11] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ACIS, Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10
- [12] <http://www.directindustry.es/prod/beijing-wowjoint-machinery-co-ltd/product-162465-1704776.html>, Direct Industry. *Pórtico de lanzamiento para doble viga cajón/para la construcción de puentes*. Consultado el 24/06/2017.
- [13] <https://theconstructor.org/structures/span-by-span-casting-method-of-bridge-construction/6129/>, The constructor. *Span by Span casting method of bridge construction*. Consultado el 24/06/2017.
- [14] Álvarez, J.J.; Lorente, G.; Ortega, M.; Matute, L. (2008). *Viaducto en el enlace A3-M45 (Madrid)*. IV Congreso de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructura-Congreso Internacional de Estructuras, 24-27 de noviembre. Obtenido de:  
<http://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/14/construccion-prefabricada-de-puentes-vano-a-vano/>

- [15] <http://www.wowjoint.com/index.php?c=article&a=type&tid=2220>, Wowjoint Holdings. *Máquinas de lanzamiento (Vano a vano y voladizo)*. Consultado el 24/06/2017.
- [16] <http://www.amivtac.org/assets/files/preentacion/Ponencia12.pdf>, Manterola Javier & Casado Carlos. *IX Seminario de ingeniería vial “Innovación en el campo de la ingeniería vial y de transporte”*. Consultado el 26/06/2017.
- [17] Quintana Ytza, M. F. (2009). *Métodos Constructivos De Puentes Atirantados - Estudio De La Distribución De Fuerzas En Los Tirantes*. Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, (7), 13-28.
- [18] <http://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/14/construccion-prefabricada-de-puentes-vano-a-vano/>, Yepes Piqueras Victor. *Construcción prefabricada de puentes “vano a vano”*. Consultado el 26/06/2017.
- [19] <http://www.wowjoint.com/index.php?c=article&a=type&tid=2220>, Wowjoint Holdings. *Máquinas de lanzamiento (Vano a vano completo)*. Consultado el 24/06/2017.
- [20] <http://www.directindustry.es/prod/beijing-wowjoint-machinery-co-ltd/product-162465-1704776.html>, Wowjoint Holdings. *Pórtico de lanzamiento para doble viga en cajón / para la construcción de puentes*. Consultado el 24/06/2017.
- [21] <https://seismic06g.wordpress.com/>, Estructuras. *Tableros de puentes contruidos con autocimbra*. Consultado el 24/06/2017.
- [22] <http://blog.360gradosenconcreto.com/puentes-en-concreto-por-voladizos-sucesivos-via-buga-buenaventura/>, Restrepo Jorge E. *Puentes en concreto por voladizos sucesivos: vía Buga-Buenaventura*. Consultado el 30/06/2017.

- [23] <http://www.amivtac.org/assets/files/preentacion/Ponencia12.pdf>, Manterola Javier. *Innovaciones en materia de tecnología de puentes*. Consultado el 30/06/2017.
- [24] <http://blog.360gradosenconcreto.com/como-se-construye-un-puente-en-dovelas-sucesivas/>, Londoño Gomez Elizabeth. *¿Cómo se construye un puente en dovelas sucesivas?* Consultado el 30/06/2017.
- [25] <https://elblogingenierocivil.wordpress.com/2014/06/02/semana-2-procesos-constructivos-puentes-metodo-de-dovelas-sucesivas-in-situ/>, *Procesos constructivos: Puentes. Método de dovelas sucesivas "In situ"*. Consultado el 30/06/2017.
- [26] <http://estructurando.net/2012/03/27/una-de-puentes-tipologias-y-procesos-constructivos-versus-luz/>, Estructurando. *Una de puentes: tipologías y procesos constructivos versus luz*. Consultado el 30/06/2017.
- [27] <https://construblogspain.wordpress.com/2013/09/24/viaductos-empujados-metodologia/>, Construblog. *Viaductos empujados. Metodología*. Consultado el 30/06/2017.
- [28] <http://wp.cienciaycemento.com/los-puentes-empujados/>, Yepes Piqueras Víctor. *Los puentes "Empujados"*. Consultado el 30/06/2017.
- [29] <http://www.berd.eu/es/news/m1-70-s-da-berd-a-fazer-historia-na-colombia/>, *BERD. M1-70-S De Berd Haciendo Historia En Colombia – Puente Pumarejo*. Consultado el 30/06/2017.
- [30] Dodelas Prefabricadas. Vargas Montero, Jacla. 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=qevrdbFy13I>, Consultado el 22/07/2017.

- [31] Montaje con lanzavigas del Viaducto sobre el Río Ferreira en Guntín (Lugo), tecnotruck, 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=RqcLxjm9dss#t=25>, Consultado el 22/07/2017.
- [32] Perdomo M. (2011). *Estudio comparativo de puentes construidos por voladizos sucesivos*. (Tesis de maestría), Universidad técnica de Catalunya, Barcelona, España.
- [33] [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta\\_generacion\\_de\\_concesiones\\_luis\\_fernando\\_andrade\\_moreno.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta_generacion_de_concesiones_luis_fernando_andrade_moreno.pdf), Andrade Moreno Luis. *Cuarta Generacion de Concesiones en Colombia, Agencia nacional de Infraestructura, Ministerio de Transporte*. Consultado el 22/07/2017
- [34] <https://es.slideshare.net/edirock/diseo-de-puentes-48858561>, Romo Proaño Marcelo. *Puentes y viaductos*. Consultado el 22/07/2017
- [35] <http://e-ache.com/modules/ache/ficheros/Realizaciones/Obra97.pdf>, Perez, Herrero, Bajo, Sanchez, Gonzalez, Martin, Gomez. *Nuevas realizaciones de puentes con dovelas prefabricadas, III congreso de Ache de puentes y estructuras*. Consultado el 22/07/2017
- [36] [http://www.berd.eu/wp-content/uploads/2016/05/27\\_2015\\_MSLB\\_High-productivity-in-bridge-construction-the-OPS-effect\\_MSLB\\_Porto.pdf](http://www.berd.eu/wp-content/uploads/2016/05/27_2015_MSLB_High-productivity-in-bridge-construction-the-OPS-effect_MSLB_Porto.pdf), Pacheco P. & Coelho H. *High productivity in bridge construction – The OPS effect*. Consultado el 22/07/2017
- [37] <http://www.berd.eu/es/proyectos/hostovsky-creek-valley/>, BERD. *creek valley*. Consultado el 22/07/2017

- [38] <http://www.berd.eu/es/proyectos/corgo/>, BERD. *Viaducto de Corgo*. Consultado el 22/07/2017
- [39] <http://www.berd.eu/es/proyectos/rio-cabriel/>, BERD. *Río Gabriel*. Consultado el 22/07/2017
- [40] <http://www.berd.eu/es/proyectos/d1-fricovce-svinia/>, BERD. *D1 Fricovce Svinia*. Consultado el 22/07/2017
- [41] <http://www.berd.eu/es/proyectos/d1-janovce-jablonov/>, BERD. *D1 Jablonov – Jánovce*. Consultado el 22/07/2017
- [42] <http://www.berd.eu/es/proyectos/opatovice/>, BERD. *Opatovický Canal*. Consultado el 22/07/2017
- [43] <http://www.berd.eu/es/proyectos/laguna/>, BERD. *Puente Anita Garibaldi*. Consultado el 22/07/2017
- [44] <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/consorcio-puente-chacao-consorcio-puente-chacao>, BN americas. *Consorcio Puente Chacao*. Consultado el 22/07/2017
- [45] Video Youtube BERD LG50/100, <https://www.youtube.com/watch?v=ewOXzw1MuVU>. \_Puente Anita Garibaldi. Consultado el 16/05/2016.

## BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, J.J.; LORENTE, G.; ORTEGA, M.; MATUTE, L. (). *Viaducto en el enlace A3-M45 (Madrid). IV Congreso de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructura-Congreso Internacional de Estructuras*, 24-27 de noviembre. 2008 [en línea] disponible en: <http://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/14/construccion-prefabricada-de-puentes-vano-a-vano/>

ANDRADE MORENO Luis. *Cuarta Generacion de Concesiones en Colombia, Agencia nacional de Infraestructura, Ministerio de Transporte*. [en línea] disponible en:

[https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta\\_generacion\\_de\\_concesiones\\_luis\\_fernando\\_andrade\\_moreno.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta_generacion_de_concesiones_luis_fernando_andrade_moreno.pdf),

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA ACIS, Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10

BENJUMEA J. *Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes extradados: Visión general y estado del arte*. doi: 0718-5073. 2010

BERD. *creek valley*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/hostovsky-creek-valley/>,

BERD. *D1 Fricovce Svinia*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/d1-fricovce-svinia/>,

BERD. *D1 Jablonov – Jánovce*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/d1-janovce-jablonov/>,

BERD. *M1-70-S De Berd Haciendo Historia En Colombia – Puente Pumarejo*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/news/m1-70-s-da-berd-a-fazer-historia-na-colombia/>,

BERD. *Opatovicky Canal*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/opatovice/>,

BERD. *Puente Anita Garibaldi*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/laguna/>,

BERD. *Río Cabriel*. [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/rio-cabriel/>,

BERD. *Viaducto de Corgo* [en línea] disponible en: <http://www.berd.eu/es/proyectos/corgo/>

BLOG 360º EN CONCRETO. *Construcción de puentes con elementos prefabricados de concreto*. [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/construccion-de-puentes-con-elementos-prefabricados-de-concreto-2/>,

BN AMERICAS. *Consortio Puente Chacao*. [en línea] disponible en: <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/consorcio-puente-chacao-consorcio-puente-chacao>,

CONCRETE The concrete Society [en línea] disponible en: <http://www.concrete.org.uk/fingertipsnuggets.asp?cmd=display&id=381>,  
Consultado el 06/07/2017.

CONSTRUBLOG. *Viaductos empujados. Metodología*. [en línea] disponible en: <https://construblogspain.wordpress.com/2013/09/24/viaductos-empujados-metodologia/>,

COSTA ROS, M. Estudio de la viabilidad del uso de atirantamiento en cimbras de avance para puentes. 2012

DIRECT INDUSTRY. *Pórtico de lanzamiento para doble viga cajón/para la construcción de puentes*. [en línea] disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/beijing-wowjoint-machinery-co-ltd/product-162465-1704776.html>,

EL BLOG INGENIERO CIVIL *Procesos constructivos: Puentes. Método de dovelas sucesivas "In situ"*. [en línea] disponible en: <https://.wordpress.com/2014/06/02/semana-2-procesos-constructivos-puentes-metodo-de-dovelas-sucesivas-in-situ/>,

ESTRUCTURANDO. *Una de puentes: tipologías y procesos constructivos versus luz*. [en línea] disponible en: <http://estructurando.net/2012/03/27/una-de-puentes-tipologias-y-procesos-constructivos-versus-luz/>,

ESTRUCTURAS. *Tableros de puentes contruidos con autocimbra*. <https://seismic06g.wordpress.com/>,

LONDOÑO GOMEZ Elizabeth. *¿Cómo se construye un puente en dovelas sucesivas?* [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/como-se-construye-un-puente-en-dovelas-sucesivas/>,

LÓPEZ E. & VANEGAS S. *Sistemas constructivos en puentes con pretensado extradadoso, Estado del Arte*. (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2009

LUNA C. *Análisis y dimensionamiento de puentes construidos por avance de cimbra*. (Trabajo de fin de grado en ingeniería civil). Escuela técnica superior de ingeniería, Sevilla, España. 2014-2015

MANTEROLA Javier & CASADO Carlos. *IX Seminario de ingeniería vial “Innovación en el campo de la ingeniería vial y de transporte”*. [en línea] disponible en: <http://www.amivtac.org/assets/files/precentacion/Ponencia12.pdf>,

MANTEROLA Javier. *Innovaciones en materia de tecnología de puentes*. [en línea] disponible en: <http://www.amivtac.org/assets/files/precentacion/Ponencia12.pdf>,

MONTERO V. SAMUEL. *Ingeniería de puentes*. doi: 978-958-8506-07-42010

PACHECO P. & COELHO H. *High productivity in bridge construction – The OPS effect*. [en línea] disponible en: [http://www.berd.eu/wp-content/uploads/2016/05/27\\_2015\\_MSLB\\_High-productivity-in-bridge-construction-the-OPS-effect\\_MSLB\\_Porto.pdf](http://www.berd.eu/wp-content/uploads/2016/05/27_2015_MSLB_High-productivity-in-bridge-construction-the-OPS-effect_MSLB_Porto.pdf),

PERDOMO M. *Estudio comparativo de puentes construidos por voladizos sucesivos*. (Tesis de maestría), Universidad técnica de Catalunya, Barcelona, España. 2011

PEREZ, HERRERO, Bajo, SANCHEZ, GONZALEZ, Martin, GOMEZ. *Nuevas realizaciones de puentes con dovelas prefabricadas, III congreso de Ache de puentes y estructuras*. [en línea] disponible en: <http://e-ache.com/modules/ache/ficheros/Realizaciones/Obra97.pdf>,

PERZO R. *Los viaductos de accesos al puente de Martigues Francia*. España. [en línea] disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/3188/3586>

PUENTE Anita Garibaldi. Video Youtube BERD LG50/100, <https://www.youtube.com/watch?v=ewOXzw1MuVU>. Consultado el 16/05/2016.

QUINTANA Ytza, M. F. *Métodos Constructivos De Puentes Atirantados - Estudio De La Distribución De Fuerzas En Los Tirantes*. Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, (7), 2009 13-28.

RESTREPO Jorge E. *Puentes en concreto por voladizos sucesivos: vía Buga-Buenaventura* [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/puentes-en-concreto-por-voladizos-sucesivos-via-buga-buenaventura/>

RESTREPO, Jorge Enrique. Argos, Blog 360° en concreto. *Hablemos de puentes de concreto en Colombia* [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/>.

ROMO PROAÑO Marcelo. *Puentes y viaductos*. [en línea] disponible en: <https://es.slideshare.net/edirock/diseo-de-puentes-48858561>,

SILVA Omar. Blog 360° en concreto. *¿Cómo funciona y cuáles son las ventajas de construcción de puentes en concreto con autocimbra?* [en línea] disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/funciona-cuales-las-ventajas-la-construccion-puentes-concreto-autocimbra/>,

TECNOTRUCK Montaje con lanzavigas del Viaducto sobre el Río Ferreira en Guntín (Lugo), , <https://www.youtube.com/watch?v=RqcLxjm9dss#t=25>,

THE CONSTRUCTOR. *Span by Span casting method of bridge construction*. [en línea] disponible en: <https://theconstructor.org/structures/span-by-span-casting-method-of-bridge-construction/6129/>,

VARGAS MONTERO, JAELA. Dovelas Prefabricadas. [en línea] disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=qevrdbFy13I>, Consultado el 22/07/2017.

WOWJOINT Holdings. *Máquinas de lanzamiento (Vano a vano completo)*. [en línea] disponible en: <http://www.wowjoint.com/index.php?c=article&a=type&tid=2220>,

WOWJOINT Holdings. *Máquinas de lanzamiento (Vano a vano y voladizo)*. [en línea] disponible en: <http://www.wowjoint.com/index.php?c=article&a=type&tid=2220>,

WOWJOINT Holdings. *Pórtico de lanzamiento para doble viga en cajón / para la construcción de puentes*. [en línea] disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/beijing-wowjoint-machinery-co-ltd/product-162465-1704776.html>,

YEPES PIQUERAS Victor. *Construcción prefabricada de puentes “vano a vano”*. [en línea] disponible en: <http://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/14/construccion-prefabricada-de-puentes-vano-a-vano/>,

YEPES PIQUERAS Víctor. *Los puentes “Empujados”*. [en línea] disponible en: <http://wp.cienciaycemento.com/los-puentes-empujados/>,