

EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS INTERNACIONALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIGA I (AASHTO) PREFABRICADAS Y SEGMENTALES PARA SU APLICACIÓN EN COLOMBIA

Autores:

Diana M. Calvete Martínez

Rubén D. Ortiz Ardila

Director:

Ph. D. Álvaro Viviescas

**EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS INTERNACIONALES EN LA CONSTRUCCIÓN
DE VIGAS I (AASHTO) PREFABRICADAS Y SEGMENTALES PARA SU
APLICACIÓN EN COLOMBIA**

**DIANA MARCELA CALVETE MARTÍNEZ
RUBÉN DARÍO ORTIZ ARDILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS INTERNACIONALES EN LA CONSTRUCCIÓN
DE VIGAS I (AASHTO) PREFABRICADAS Y SEGMENTALES PARA SU
APLICACIÓN EN COLOMBIA**

**DIANA MARCELA CALVETE MARTÍNEZ
RUBÉN DARÍO ORTIZ ARDILA**

**Trabajo de grado para optar al título de:
INGENIERO/A CIVIL**

Director

ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES

Doctorado en ingeniería de la construcción

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

*D*edico este trabajo a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio; a mis padres por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy, por darme la oportunidad de realizarme profesionalmente y de apoyarme en este camino, y a mis hermanos quienes con su motivación me ayudaron a alcanzar mis metas y no desfallecer.

(Diana Calvete M.)

*D*edico este trabajo a Dios, por permitirme llegar hasta este punto, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, como de sabiduría y amor para afrontar con fortaleza las etapas de la vida; A mis padres por ser el motor y ejemplo de esfuerzo y dedicación, quienes me apoyaron en este camino profesional, a mi hermana por ser guía y motivación para emprender en nuevos caminos, a mi abuela por darme sus consejos y sus valores para hacerme una persona de bien, y a todas aquellas personas que me acompañaron con su apoyo y dedicación para cumplir la meta.

(Rubén Ortiz A.)

AGRADECIMIENTOS

*A*gradecemos a Dios por la vida y la sabiduría, por habernos guiado para elegir la carrera que hoy nos hace profesionales como ingenieros civiles, a los docentes por transmitirnos sus conocimientos, a nuestras familias por el apoyo recibido, y a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Ing. Alvaro Viviescas director de la investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua, pero sobre todo por el apoyo recibido a lo largo de estos años.

(Diana y Rubén)

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1 OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3 ALCANCE	23
1.4 LIMITACIONES	23
1.5 JUSTIFICACIÓN	23
2 TÉCNICAS ACTUALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES SEGMENTADOS PREFABRICADOS.....	25
2.1 INTRODUCCIÓN.....	25
2.2 METODOS DE PREFABRICACIÓN DE PUENTES SEGMENTADOS.....	26
2.2.1 Construcción in situ	26
2.2.1.1 Generalidades	26
2.2.1.2 Ventajas y desventajas de construcción en in situ.....	27
2.2.1.3 Sistemas de construcción in situ.....	27
2.2.2 Construcción prefabricada.....	31
2.2.2.1 Generalidades	31
2.2.2.2 Ventajas y desventajas de las vigas prefabricadas	32
2.2.2.3 Descripción básica del proceso de prefabricación de los elementos.....	34

2.2.2.4	Sistemas de construcción prefabricados	36
2.3	CLASIFICACIÓN DE LOS PREFABRICADOS	46
2.3.1	Elemento simple	46
2.3.2	Elemento reforzado	46
2.3.3	Elemento pretensado.....	46
2.3.4	Elemento postensado	47
3	MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE PUENTES PREFABRICADOS.....	49
3.1	INTRODUCCIÓN.....	49
3.2	MÉTODO DE LUZ A LUZ (SPAN-BY-SPAN).....	50
3.2.1	Generalidades	50
3.2.2	Características del método vano a vano.....	50
3.2.3	Ventajas y desventajas.....	51
3.3	MÉTODO DE LANZAMIENTO POR INCREMENTO (INCREMENTAL LAUNCHING).....	52
3.3.1	Generalidades	52
3.3.2	Características del lanzamiento incrementado	53
3.3.3	Ventajas y desventajas.....	54
3.4	MÉTODO PROGRESIVO POR VOLADIZO.....	54
3.4.1	Generalidades	54
3.4.2	Características del método progresivo	55
3.4.3	Ventajas y desventajas.....	56
3.5	MÉTODO DE CANTILIEVER	57
3.5.1	Generalidades	57
3.5.2	Características del método cantiliever	57

3.5.3	Ventajas y desventajas.....	59
4	ASPECTOS GENERALES DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES	60
4.1	INTRODUCCIÓN.....	60
4.2	RANGOS DE ALCANCE DE LAS DIFERENTES VIGAS.....	62
4.3	ESPECIFICACIONES DE LAS VIGAS I AASHTO	63
4.3.1	Rangos de alcance para los tipos de vigas I AASHTO.....	65
4.3.2	Popularidad de las vigas I prefabricadas	65
4.4	TIPOS DE VIGA I EMPLEADAS EN ESTADOS UNIDOS.....	66
5	EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS	69
5.1	ÁMBITO INTERNACIONAL.....	69
5.1.1	Análisis de proyectos a nivel internacional	70
5.1.1.1	State route 162/6 puyalluo river bridge (Washington).....	70
5.1.1.2	State route 385 over the wolf river (Tennessee, Estados Unidos).....	74
5.1.1.3	I-10/SR 303L system traffic interchange (Arizona, Estados Unidos)	76
5.2	ÁMBITO NACIONAL.....	78
5.2.1	Análisis de proyectos a nivel nacional	79
5.2.1.1	Viaducto sobre ciénaga de la virgen en Cartagena	79
5.2.1.2	Nuevo Puente Pumarejo.....	80
5.3	APUESTA A LA CONSTRUCCIÓN SEGMENTADA.....	81
6	CONCLUSIONES	83

7	RECOMENDACIONES	86
	BIBLIOGRAFÍA	87

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Ventajas y desventajas de la construcción in situ	27
Cuadro 2: Ventajas y desventajas de las vigas prefabricadas	33
Cuadro 3: Características del método vano a vano	51
Cuadro 4: Ventajas y desventajas del método vano a vano	51
Cuadro 5: Características del método de lanzamiento por incremento.....	53
Cuadro 6: Ventajas y desventajas del método de lanzamiento por incremento.....	54
Cuadro 7: Características del método progresivo por voladizos	56
Cuadro 8: Ventajas y desventajas del método progresivo por voladizos	56
Cuadro 9: Características del método cantiléver	58
Cuadro 10: Ventajas y desventajas del método cantiléver	59
Cuadro 11: Rangos de alcance de las vigas.....	62
Cuadro 12 Rango de alcance para los tipos de vigas I AASHTO	65
Cuadro 13: Ventajas y desventajas de la construcción del state route 162/6 puyalluo river bridge.....	73
Cuadro 14: Descripción de la construcción del state route 162/6 puyalluo river bridge.....	73
Cuadro 15: Ventajas y desventajas de la construcción del state route 385 over the wolf river	75
Cuadro 16: Descripción de la construcción del state route 385 over the wolf river	76
Cuadro 17: Ventajas y desventajas de la construcción del I-10/SR 303L system traffic interchangeDescripción del puente:	77
Cuadro 18: Descripción de la construcción del state route 385 over the wolf river	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Sistemas constructivo In situ MSS.....	28
Figura 2: Instalación de una planta industrializada	34
Figura 3: Planta de almacenamiento de elementos prefabricados	35
Figura 4: Tipo de transporte.....	36
Figura 5: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con grúa	38
Figura 6: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con bastidores ...	39
Figura 7: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con full span	41
Figura 8: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con formaletas sobre un falso apoyo (falsework)	42
Figura 9: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de vano a vano	44
Figura 10: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de cantiléver.....	45
Figura 11: Esquema de cable en hormigón pretensado	47
Figura 12: Esquema de cable en hormigón postensado.....	47
Figura 13: Tipos de vigas prefabricadas	61
Figura 14: Tipos de vigas I AASHTO	63
Figura 15: Idealización de las vigas I en Estados Unidos	67
Figura 16: Sección transversal del puente.....	72

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1: Construcción In situ	26
Fotografía 2: Sistema constructivo in situ SMMS.....	30
Fotografía 3: Sistema de cimbras en el suelo in situ.....	31
Fotografía 4: Puente la laguna, Estado santa catarina, Brasil	50
Fotografía 5: Puente la marquesa, Cd De México, México	53
Fotografía 6: Viaducto del Regueirón, Asturias, España	55
Fotografía 7: Puente atirantado Queensferry Crossing, Escocia	58
Fotografía 8: Puente McMillin y State route 162/6 puyalluo river bridge	71
Fotografía 9: Viga I WT74G	72
Fotografía 10: State route 385 over the wolf river	74
Fotografía 11: I-10/SR 303L system traffic interchange	76
Fotografía 12: Viaducto sobre ciénaga de la virgen en Cartagena	79
Fotografía 13: Nuevo puente Pumarejo	81

LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 1: Especificaciones del método MSS	29
Tabla 2: Ciclo típico del montaje de grúa	38
Tabla 3: Ciclo típico del montaje con bastidores	40
Tabla 4: Ciclo típico del montaje con full span	41
Tabla 5: Ciclo típico del montaje con formaletas sobre un falso apoyo (falsework)	43
Tabla 6: Ciclo típico del montaje con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de vano a vano	44
Tabla 7: Ciclo típico del montaje con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de cantiléver	45
Tabla 8: Ventajas y desventajas del método postensado	48
Tabla 9 Especificaciones de los diferentes tipos de vigas	64
Tabla 10: Clasificación de las vigas I AASHTO	63
Tabla 11: Vigas I en Estados Unidos	68
Tabla 12: Precios vigas segmentadas prefabricadas	75

LISTA DE ANEXO

	Pág.
ANEXO A: Propiedades de las vigas existentes en E.U.U	99
ANEXO B: Base de puentes internacionales	101
ANEXO C: Base de puentes nacionales.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway Transportation Officials
ABC	Accelerated bridge construction
ADOT	Arizona Department of Transportation
ASCE	American Society of Civil Engineers
Caltrans	California Department of Transportation
ConnDOT	Connecticut Department of Transportation
DeIDOT	Delaware Department of Transportation
DGC SCT	Dirección General de Carreteras: secretaria de comunicación de transportes
DOTD	Louisiana Department of Transportation and Development
EDC	Every day counts
FDOT	Florida Department of Transportation
FIB	Florida - I - beam
FHWA	Federal Highway Administration
IADOT	Iowa Department of Transportation
IDOT	Illinois Department of Transportation
INDOT	Indiana Department of Transportation
LRFD	Load and Resistance factor design
MaineDOT	Maine Department of Transportation
MCDOT	Maricopa County Department of Transportation
MDOT	Minnesota Department of Transportation
MSS	Movable scaffolding systems

NDOR	Nebraska Department of Roads
NDOT	Nevada Department of Transportation
NEBT	New England Bulb Tee
NJDOT	New Jersey Department of Transportation
NU	University of Nebraska
NYSDOT	New York State Department of Transportation
PBES	Prefabricating bridge elements and systems
PCI	Precast/Prestressed Concrete Institute
ODOT	Oregon Department of Transportation
SMSS	Self-Launching Movable Scaffolding Systems
TDOT	Tennessee Department of Transportation
TxDOT	Department of Transportation
UDOT	Utah Department of Transportation
USA	United State of America
VDOT	Virginia Department of Transportation
WSDOT	Washington State Department of Transportation

GLOSARIO

AASHTO: Manual de diseño de puentes, que se refiere a la Asociación Americana de Oficiales de Autopista Estatal y Transportación. Sigla de American Association of State Highway Officials, EUA.

AASHTO LRFD: Norma y especificaciones de construcción para el diseño de puentes en Estados Unidos.

LRFD: Método de diseño para estructuras con factores de cargas y resistencia de diseño.

POSTENSADO: Método de presforzado en el cual los tendones se tensionan después de que el concreto haya fraguado.

PRETENSADO: Método de presforzado en el cual los tendones se tensionan antes que el concreto se vierta.

SEGMENTO: Una sección modular de la superestructura y/o subestructura que consiste en una determinada forma o longitud de una sección transversal donde se detalla en los planos.

RESUMEN

TÍTULO: EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS INTERNACIONALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIGAS I (AASHTO) PREFABRICADAS Y SEGMENTALES PARA SU APLIACIÓN EN COLOMBIA. *

AUTORES: DIANA MARCELA CALVETE MARTÍNEZ,
RUBÉN DARÍO ORTIZ ARDILA **

PALABRAS CLAVES: Vigas segméntales, Prefabricadas, Métodos constructivos, AASHTO, Puentes nacionales, Puentes internacionales.

DESCRIPCIÓN:

La presente investigación tiene como objetivo analizar las experiencias y tendencias internacionales para la aplicación y construcción de puentes segmentados prefabricados de vigas I (AASHTO) en Colombia, a partir de la recopilación de información de una serie de documentos y en base a las vivencias de varios autores que han usado los sistemas constructivos a nivel mundial.

El documento se dividió de tal manera que en la primera parte se describen las técnicas y métodos constructivos que actualmente son usados en la prefabricación de puentes segmentados, para conocer sus principales características, limitaciones de uso, ventajas y desventajas que desarrollan frente al proceso constructivo, tanto para construcción en sitio, como para los segmentos prefabricados en sección I (AASHTO).

Posteriormente se genera una base de datos de referencia que contiene los puentes que se han construido hasta el momento a nivel nacional, mediante los diversos métodos estableciendo las generalidades para la introducción de puentes segmentados en vigas de sección I (AASHTO) prefabricadas, como opción viable para dar soluciones a puentes con luces entre 30 y 40 m en el entorno colombiano, de tal manera que los tiempos de ejecución y costos sean reducidos.

Teniendo en cuenta que Colombia utiliza métodos constructivos tradicionales con escasa industrialización, se busca ofrecer conocimientos de nuevas alternativas para dar solución a la aplicación de construcción de puentes segmentados.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Alvaro Viviescas Jaimes, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE: INTERNATIONAL EXPERIENCES AND TRENDS IN THE CONSTRUCTION OF PREFABRICATED AND SEGMENTAL BEAMS I (AASHTO) FOR ITS APPLICATION IN COLOMBIA.*

AUTHORS: DIANA MARCELA CALVETE MARTÍNEZ,
RUBÉN DARÍO ORTIZ ARDILA **

KEYWORDS: Segmental beams, Prefabricated, Constructive methods, AASHTO, National bridges, International bridges.

DESCRIPTION:

The objective of this research is to analyze international experiences and trends in the application and construction of I-beam precast segmented bridges (AASHTO) in Colombia, based on the compilation of information from a series of documents and based on the experiences of several authors who have used construction systems worldwide.

The document was divided in such a way that the first part describes the techniques and construction methods that are currently used in the prefabrication of segmented bridges, to know their main characteristics, limitations of use, advantages and disadvantages that develop against the construction process, both for construction on site, as for the prefabricated segments in section I (AASHTO).

Subsequently a reference database is generated that contains the bridges that have been built so far at the national level, through the various methods, establishing the generalities for the introduction of segmented bridges in prefabricated section I beams (AASHTO), as a viable option to provide solutions to bridges with lights between 30 and 40 m in the Colombian environment, so that the execution times and costs are reduced.

Taking into account that Colombia uses traditional construction methods with little industrialization, it seeks to offer knowledge of new alternatives to provide a solution to the construction of segmented bridges.

* Grade work

** Faculty of Physical-Mechanical engineering, Civil Engineering School, Directress: Alvaro Viviescas Jaimes, Civil engineer.

INTRODUCCIÓN

La evolución, el desarrollo y la aceptación mundial de la construcción de los puentes segmentados ha llevado a representar uno de los logros más interesantes e importantes de la ingeniería civil durante los últimos años a nivel mundial, ya que ha ayudado a mejorar los tiempos de ejecución, presupuestos económicos y calidad estructural.

Por esta razón desde el siglo XX, los puentes segmentados prefabricados en secciones AASHTO han tomado un lugar importante para proyectos de carreteras o autopistas, compitiendo en el rango de las luces medias con las vigas tipo cajón prefabricadas. A nivel Internacional, estos puentes han sido implementados y extendido con mayor auge en USA y Europa, pero los recientes proyectos desarrollados en otros países demuestran el interés que está generando este tipo de estructura, debido a que es un método de construcción seguro, práctico y económico.

Sin embargo, los puentes prefabricados segmentados en vigas I (AASHTO), son poco conocidos en Colombia, en donde para proyectos de carreteras se opta por las tipologías convencionales. Por consiguiente, uno de los propósitos de esta investigación es la de proveer una revisión sobre la evolución de los puentes segmentados para reducir el tiempo de constr, tomando como base los diferentes puentes que se han construido como los que se encuentran en etapa inicial y/o proyecto; y de esta manera conocer las tendencias actuales en la que se presenta un análisis de las ventajas y desventajas de su aplicación.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las experiencias y tendencias actuales a nivel internacional de los sistemas constructivos en vigas I (AASHTO) prefabricadas segmentales, para su aplicación en Colombia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Identificar las técnicas actuales para la construcción de puentes prefabricados. Alcance internacional.
- b. Caracterizar los diferentes métodos de construcción de vigas AASHTO a partir de la literatura existente. Alcance internacional.
- c. Generar una base de datos de puentes construidos con vigas segmentales prefabricadas identificando las principales características. Alcance internacional y nacional.
- d. Identificar las principales ventajas y desventajas de esta técnica constructiva y diagnosticar la posibilidad de su implementación en Colombia.

1.3 ALCANCE

El estudio se enfocará en analizar los procesos constructivos de cada una de las técnicas evaluadas y como criterio de comparación se evaluarán los tiempos de construcción, de acuerdo a la información disponible en la literatura.

1.4 LIMITACIONES

Por ser un primer estudio del tema no se pretende incluir análisis de costos y presupuestos que genera esta tipología de puentes segmentados en vigas I AASHTO.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El avance en el desarrollo de la construcción de puentes ha llevado a la industria mundial a estar en constante evolución e innovación para mejorar los tiempos de ejecución, presupuesto económicos y calidad de las estructuras; implementando así diferentes tipos de sistemas constructivos de prefabricación de vigas.

Dada la necesidad de contribuir al progreso nacional en el ámbito de infraestructura y conectividad vial; se plantea este proyecto basado en investigaciones recientes y experiencias internacionales de estructuras especiales, con el objetivo de dar un aporte a la ejecución e invención de procesos tecnificados en la construcción de vigas I (AASHTO “AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS”) prefabricadas.

Para la creación de nuevos proyectos es necesario el conocimiento previo de los sistemas de construcción de vigas prefabricadas segmentales que se están utilizando a nivel mundial. A partir de ahí llevar a cabo un estudio comparativo de cada sistema; con el fin de ayudar a la toma de decisiones de profesionales en la

construcción de puentes usando el método más eficiente para cada territorio, teniendo en cuenta su orografía, economía y accesibilidad geográfica; como también es importante conocer el avance a nivel de construcción que utiliza Colombia referente al aplicado por otros países. Con relación a lo anterior vamos a analizar y detallar a fondo la metodología que se aplicó en la construcción de proyectos nacionales e internacionales.

Adicional al objetivo principal de aportar al desarrollo del país, se busca afianzar el conocimiento en vigas I (AASHTO), contar con actualización de nuevas tendencias e innovar en procesos que mejoren la construcción de estructuras día a día.

2 TÉCNICAS ACTUALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES SEGMENTADOS PREFABRICADOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se abarcará las técnicas que se han venido empleando a nivel internacional para el uso de vigas segmentas prefabricadas; estas tendencias en los últimos años han producido un importante desarrollo tecnológico en cada una de ellas viéndose reflejadas en algunos continentes como Asia y América del norte¹, teniendo un gran impacto en puentes de luces medias.

Los segmentos prefabricados representan un mercado grande y en expansión que puede aumentar la producción total de la industria prefabricada. Por lo tanto, a diferencia de los típicos puentes, los segmentos comprenden toda la sección transversal, incluida la cubierta. Esto da como resultado una mayor porción del proyecto total que pueden ser suministrados por los productores de hormigón prefabricado.

También proporcionan beneficios cuando el diseño puede aprovechar la capacidad de segmentos de hormigón prefabricados o moldeados en el lugar que se pueden replicar con las mismas formas, lo que reduce los costos. Especialmente cuando estos segmentos uniformes se pueden usar en estructuras de rango intermedio y, largo alcance, los puentes segmentados prefabricados se vuelven muy viables.

Por otro lado, Eugene², resalta que “los segmentos prefabricados, proporcionan beneficios y se convierten en una solución altamente duradera económica y estética

¹ SALLEH,J. Construction of precast segmental box girder bridge using overhead gantry.Malasya. 2006.Pág.12

² EUGENE,Freyssinet.Proposed AASHTO standards for segmental bridges represent a growing market for the precast concrete industry. En: Tallahassee,Florida. Pág 32.

para los proyectos”. Por lo tanto, ahora incumbe a la industria de prefabricación comenzar a producir estas secciones estándar ya que es fundamental para el diseño y construcción de vigas segmentadas.

2.2 METODOS DE PREFABRICACIÓN DE PUENTES SEGMENTADOS

La construcción de un puente segmentado está compuesta por varios tramos pequeños de vigas sementadas que cruzan la carretera; donde los elementos prefabricados se pueden realizar de diferentes maneras constructiva, las cuales se clasifican en:

2.2.1 Construcción in situ

2.2.1.1 Generalidades: Esta manera de prefabricación es muy común observarlas en puentes de luces pequeñas. Donde esté proceso de construcción consiste en preparar el molde de las vigas en algún lugar cercano al sitio de construcción, para luego vaciar el concreto y llevarlo a su posición final. Sin embargo, no siempre son deseables estas condiciones de construcción, especialmente en cruces de vías, donde interrumpe el tráfico por mucho tiempo crea descontentos e impactos en la población.

Fotografía 1: Construcción In situ



Fuente:

http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/ponencias_jt151016_puentes/es_def/adjuntos/ponencia_alberto_alonso_puentes.pdf

2.2.1.2 Ventajas y desventajas de construcción en in situ

Cuadro 1: Ventajas y desventajas de la construcción in situ

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Se usan encofrados metálicos y plásticos que permiten desencofrarlos a las 24 horas después</p> <hr/> <p>No causan problemas entre las juntas de las vigas</p>	<p>Grandes gastos de encofrado</p> <hr/> <p>La ejecución de obra es más prolongada</p> <hr/> <p>Más dinero y tiempo en la etapa de construcción</p>

2.2.1.3 Sistemas de construcción in situ: La tendencia actual, para la construcción de puentes In situ en vigas segmentadas es emplear diferentes alternativas de montaje más rentables, tanto en términos de rendimiento económico como la productividad en obra.

Por esta razón, hoy en día la empresa líder noruega STRUKTURAS³ se ha encargado de suministrar diversos tipos de equipamientos y montajes, a más de 200 proyectos en todo el mundo, que cuentan con la mayor experiencia y capacidad para los siguientes sistemas constructivos que se pueden realizar en in situ:

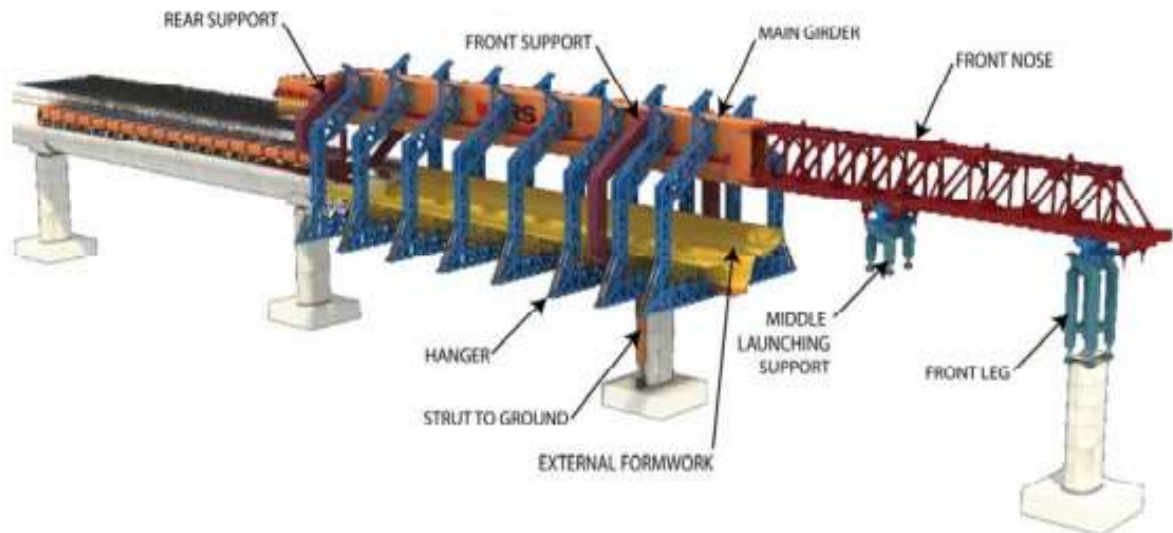
- ✓ Sistema Movable Scaffolding Systems (MSS): Este sistema fue desarrollado a raíz de la aparición tecnológica del postensado en la construcción de tableros de hormigón, con el objetivo de aumentar la productividad en la construcción de puentes y viaducto, a través de la mecanización de algunas fases del ciclo

³ STRUKTURAS. Sistemas lanzables-autoportantes. Hormigo In situ. Se encuentra:<
<http://struktur.no/bridge-building-equipment/underslung-mss>>

constructivo. Además, este mecanismo facilita adaptarse a diferentes secciones tipo viga, desde geometrías en “T”, “I” hasta secciones tipo “cajón”, debido a que está constituido por estructuras metálicas que facilita la operación de la apertura y/o avance de la obra.

Por otra parte, este equipamiento permite encofrar ya sea en la parte superior o inferior de la construcción, donde la única diferencia importante entre estos dos sistemas de MSS, es el posicionamiento de la estructura principal en relación con el tablero y la posición del encofrado. Cabe resalta que no es necesario realizar en patio cercano a su construcción, debido a la capacidad y adaptabilidad del equipo. A continuación, se ilustrará el esquema y las principales especificaciones de este sistema:

Figura 1: Sistemas constructivo In situ MSS



Fuente: <http://docs.trb.org/prp/14-3724.pdf>

Tabla 1: Especificaciones del método MSS

DESCRIPCIÓN		ESPECIFICACIONES
Rango de luz		25 [m] - 70 [m]
Capacidad de peso		380 [Ton] - 1600 [Ton]
Material de encofrado		Lámina de metal ó Madera
Mecanismo de lanzamiento		Hidráulico
Tipos de puentes		Construcción de vano a vano, continua o simple
Forma de la sección del puente		Doble T, U, Cajón simple ó doble, Puente integrado de hormigón-acero
Ciclo típico del montaje		8 días - 14 días Dependen de la condición del sitio, capacidad de la maquinaria, altura y método de la fabricación.
Máxima pendiente del puente	Longitudinal	7%
	Transversal	5%

Fuente: <<http://hcrailway.com/product/mss.php>>

✓ Sistema Self-Launching Movable Scaffolding Systems (SMSS): Este sistema es utilizado en hormigonado in situ de vanos completos de tableros de puentes, para estructuras que se encuentra sobre agua o cuando la misma está a una altura considerable.

Además, este mecanismo tiene las mismas consideraciones tanto en la geometría de las vigas como en el posicionamiento del encofrado del sistema MSS; sin embargo, la única diferencia es que tiene la capacidad de mover las ménsulas del sistema de un pilar al siguiente, sin necesidad de auto grúas, por este motivo es el sistema ideal para trabajar sobre el agua o en situaciones donde los pilares tienen una altura considerable. A continuación, se ilustra un claro ejemplo del sistema:

Fotografía 2: Sistema constructivo in situ SMMS



Fuente: STRUKTURAS. Sistemas lanzables-autoportantes, p.27.

Los sistemas nombrados anteriormente solo se emplean únicamente para proyectos de gran altura debido a que proporciona mejores resultados en la obra. Posteriormente se mencionará el sistema más apto para la construcción de puentes de altura pequeña en obra:

✓ Cimbras apoyadas en el suelo: Este tipo de montaje es muy usado principalmente para puentes de altura pequeña, hasta 40 metros, debido a las limitaciones de los equipos y las condiciones de seguridad. Además, es una solución provisional que tiene por objeto soportar el peso de la estructura mientras que el hormigón se coloca y compacta. Una vez que la estructura adquiere la resistencia necesaria para sostenerse a sí misma, se procede al desmantelamiento de la cimbra temporal.

Fotografía 3: Sistema de cimbras en el suelo in situ.



Fuente: http://www.ulmaconstruction.com/en-us/formwork-shoring/concrete-shoring-systems/heavy-duty-shoring-towers-mk/tab2/mk-cimbra-gran-carga-vent-6-amp.jpg/@_@images/4205c2d5-0b83-4fac-8b09-a28c22a00363.jpeg

2.2.2 Construcción prefabricada

2.2.2.1 Generalidades: Los elementos y sistemas prefabricados se están utilizando para minimizar la duración de la construcción del puente in situ, debido a que muchos casos no es factible realizar los molde o los segmentos prefabricados cerca obra por muchas razones, una de ellas es la falta de accesibilidad y capacidad del terreno dado. Para solucionar este problema se hace necesario utilizar otros medios de construcción como la prefabricación de los segmentos en una planta o fábrica de producción, para luego pueda ser transportada por un camión, ferrocarril o barcaza hasta el sitio y eventualmente es montado a su posición final del proyecto.

Este sistema de construcción es más práctico, ya que los elementos fabricados se pueden almacenar en un lugar cercano a la obra en espera de su transporte y colocación definitiva. Esta técnica es muy comúnmente utilizada en países

desarrollados como Estados Unidos, Tailandia, y Europa; como lo menciona Walter⁴.

Por ejemplo, esta metodología fue utilizada y aplicada por primera vez en 1948 por el gran precursor francés pionero, Eugene Freyssinet⁵ quien construyó cinco puentes sobre el río Marne cerca de París, donde empleo segmentos prefabricados que se sometieron a un tensionamiento antes de ser vaciado el concreto. Es así que estas estructuras se le denominaron como puentes segmentados pretensados prefabricados.

Además, la prefabricación de vigas juega un papel importante en el desarrollo y competitividad de la misma. La necesidad de atender y responder con calidad ante una demanda de construcciones de puentes a corto plazo fue fundamental para aquellos países desarrollados como lo son Estados Unidos, Gran Bretaña, Nueva Zelanda, Francia, Suiza, España, China entre otros; donde sus principales objetivos era minimizar el tiempo de ejecución de la obra, costos y rentabilidad del proyecto, para así buscar sus mejores beneficios y provechos de cada construcción.

2.2.2.2 Ventajas y desventajas de las vigas prefabricadas: La prefabricación permite desarrollar una construcción más confiable, eficaz, y por ende competitiva frente a otros sistemas constructivos. A continuación, se ilustran algunas ventajas y desventajas que mencionaron algunos pioneros de la construcción de vigas prefabricadas en términos de tiempo de construcción, seguridad, impacto ambiental y costos:

⁴ POLDONY, Walter. An overview of precast prestressed segmental bridge. Washington, D.C, p. 3.

⁵ EUGENE, Freyssinet. Proposed AASHTO standards for segmental bridges represent a growing market for the precast concrete industry. En: Tallahassee, Florida. Pág 30

VENTAJAS

Las vigas se pueden prefabricar mientras construyen

Eliminan riesgos de trabajos en alturas

Reducen los efectos de deformaciones diferidas que disminuyen con la edad del concreto

Son estructuras agradables desde el punto de vista

Las obras suelen ser más económicas, disminuyendo el costo del proyecto entre 2% y 40%.

La ejecución en obra se realiza mucho más rápido, ya que no depende de los tiempos de endurecimiento del hormigón y puede reducir hasta en un 35% de un proyecto, es decir, cuatro semanas o más

La fabricación de los segmentos puede realizarse mientras la subestructura se encuentra en construcción

DESVENTAJAS

Necesita un alto grado de control de geometría durante la fabricación y montaje de segmentos

Limitaciones de temperatura y tiempo en cuanto a mezclar y colocar el material

Falta de refuerzo de acero suave a través de la junta y, por lo tanto, limitación del esfuerzo de tensión a través de la junta

Más difícil controlar las filtraciones en elementos prefabricados

Requiere grandes inversiones iniciales en plantas, equipos y transporte

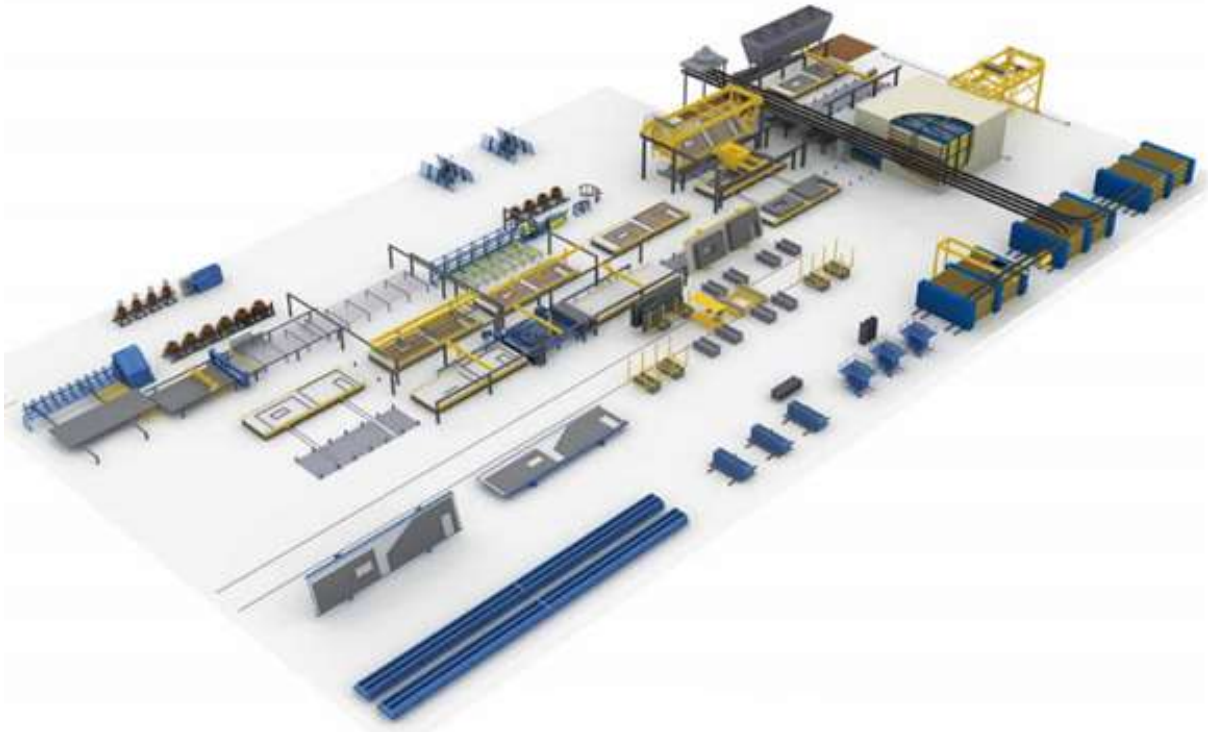
Longitud y pesos limitados de los elementos, debido al transporte de la fábrica al sitio

Cuadro 2: Ventajas y desventajas de las vigas prefabricadas

2.2.2.3 Descripción básica del proceso de prefabricación de los elementos: las etapas que trascurren desde que se concibe y diseña el elemento prefabricado hasta su colocación en obra, son las siguientes:

✓ Etapa 1 - Fabricación en planta: En esta etapa consiste en realizar el diseño y adaptación del molde de la pieza, para luego vaciar los elementos y obtener los segmentos ya prefabricados. En algunos casos la fabricación de elementos se emplean formas estandarizadas, normalmente se encuentran mecanizados por maquinas. En la siguiente imagen se ilustra un ejemplo de instalación de una planta industrializada.

Figura 2: Instalación de una planta industrializada

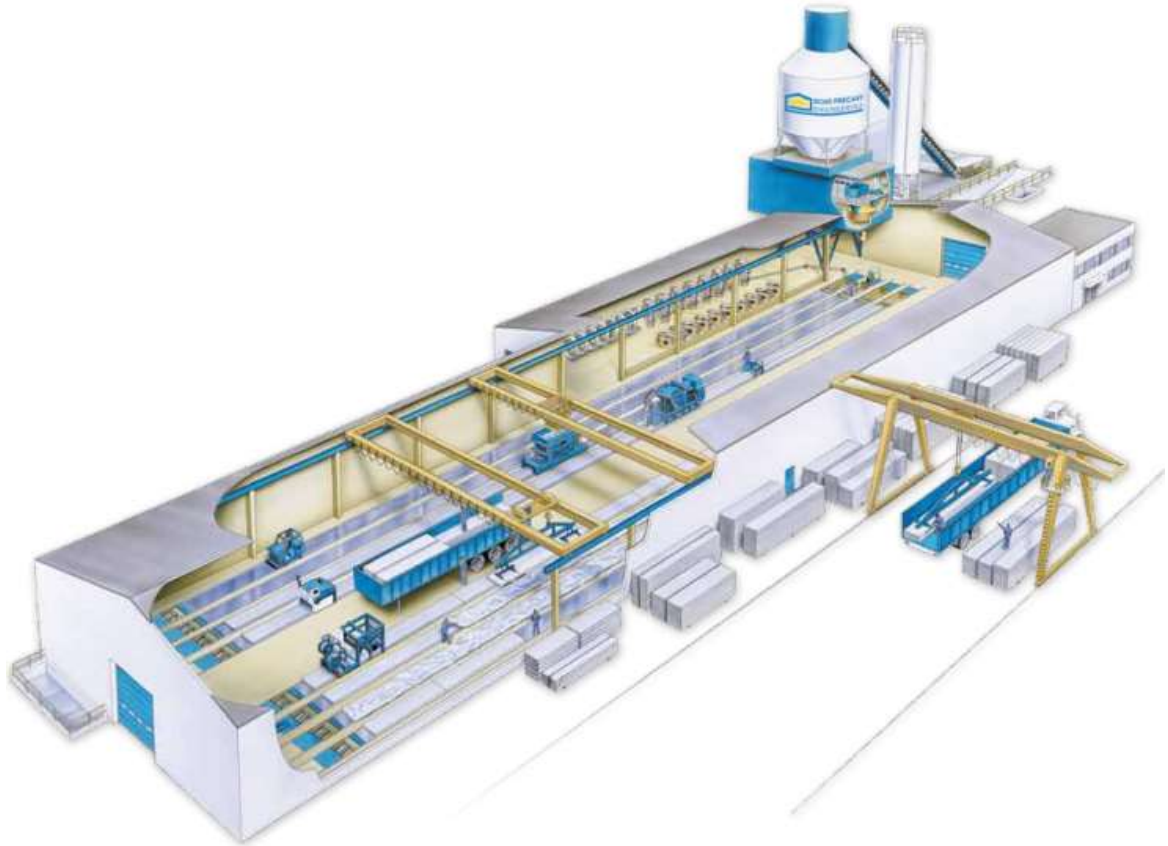


Fuente:

https://www.tecnocom.com/sites/default/files/downloadfiles/tecnocom_katalog_spa-2.pdf

✓ Etapa 2 - Almacenamiento: Una vez fabricada las piezas se procede a transportar los elementos, ya sea directamente a la obra o almacenada en instalaciones de la planta de fabricación. A continuación, se presenta una imagen de una planta de almacenamiento de elementos prefabricados.

Figura 3: Planta de almacenamiento de elementos prefabricados



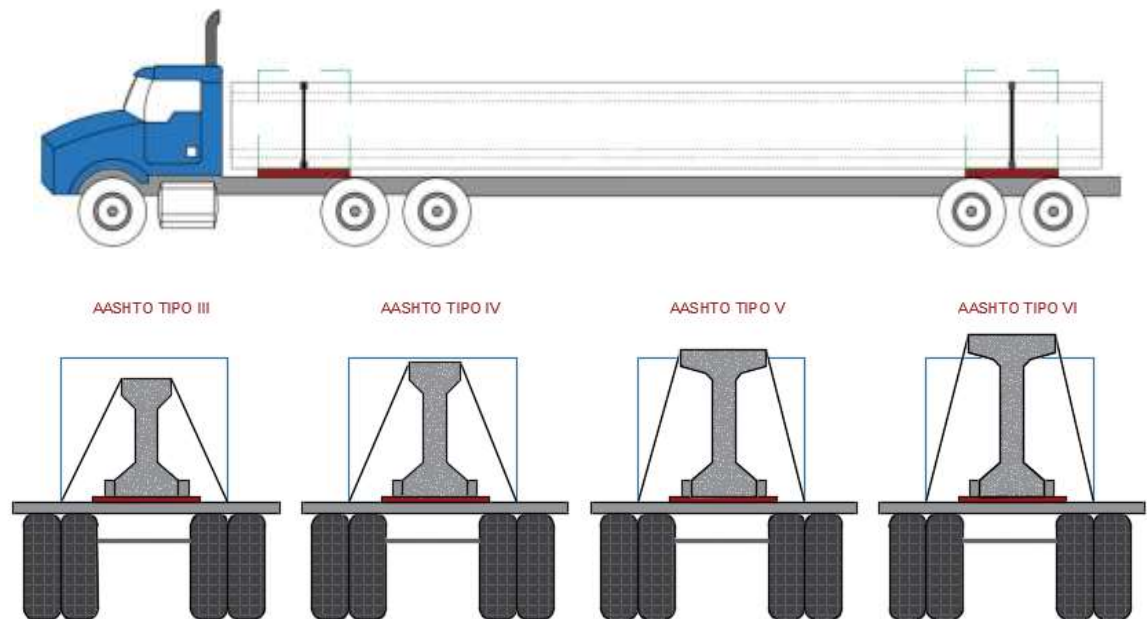
Fuente:

https://www.tecnocom.com/sites/default/files/downloadfiles/tecnocom_katalog_spa-2.pdf

✓ Etapa 3 - Transporte en obra: Como se ha descrito anteriormente, una vez fabricada la pieza, cabe la posibilidad de almacenar la misma o bien proceder directamente a transportarla a la obra sin el paso de almacenamiento. En segunda

instancia se procederá directamente a su colocación en el medio de transporte acto (normalmente camiones especiales diseñados para el tipo de pieza). Cabe resaltar que la selección del tipo de transporte depende del peso de la pieza, sus dimensiones y el terreno a transitar. En la siguiente figura se ilustra un tipo de transporte:

Figura 4: Tipo de transporte



✓ Etapa 4 - Montaje en obra: Esta fase es el final del proceso productivo, considerándose la etapa más compleja, en el cual depende de las técnicas de colocación o montaje de los elementos prefabricados. A continuación, se enfocará más de las diversas técnicas que actualmente existe a nivel mundial.

2.2.2.4 Sistemas de construcción prefabricados: En los últimos años ha ido apareciendo una nueva generación de sistemas para la construcción evolutiva vano a vano, donde existen gran variedad de métodos, según el sitio y las características generales del proyecto, para transportar y colocar los elementos en su posición final.

En la actualidad, existen varias empresas internacionales, que se han encargado de ofrecer una gama completa de servicios técnicos y de construcción, incluyendo mecanismos de montaje para vigas prefabricada segmentada, una de ellas ha sido la compañía multinacional VSL⁶, donde ha contribuido a algunas de las estructuras de puentes más prestigiosas y complejas de todo el mundo, que van desde puentes de cable de gran longitud hasta puentes de vigas prefabricadas convencionales.

Por esta razón existen diferentes técnicas o sistemas de colocación para vigas segmentadas prefabricadas que depende de los métodos constructivos, dicho tema se abarcará en el siguiente capítulo más afondo, los más comunes y utilizados son los siguientes:

✓ Montaje de segmentos prefabricados con grúa (crane): Los segmentos prefabricados o vigas se pueden realizar el montaje por medio de grúas de tierra, si los pilares no son altos y el área bajo el puente es accesible; este método ha demostrado ser altamente eficaz y puede facilitar tasas considerables de montaje.

Según la investigación basada por Marco Rosignoli⁷, las grúas suelen simplificar los procedimientos de montaje más simples y rápidos con la mínima inversión, es decir son más económicos, debido a que no requiere maquinas tecnológicas para la colocación. Además, la cubierta puede ser construida en varios lugares al mismo tiempo, sin esperar la construcción de un tramo de la obra.

Este mecanismo ha sido frecuentemente ejecutado por *ALE HEAVYLIFT*⁸, particularmente en la construcción de voladizos equilibrados, donde han demostrado que es un método altamente eficaz y puede facilitar tasas considerables del montaje, donde se puede colocar hasta 6 segmentos por día. A continuación, se

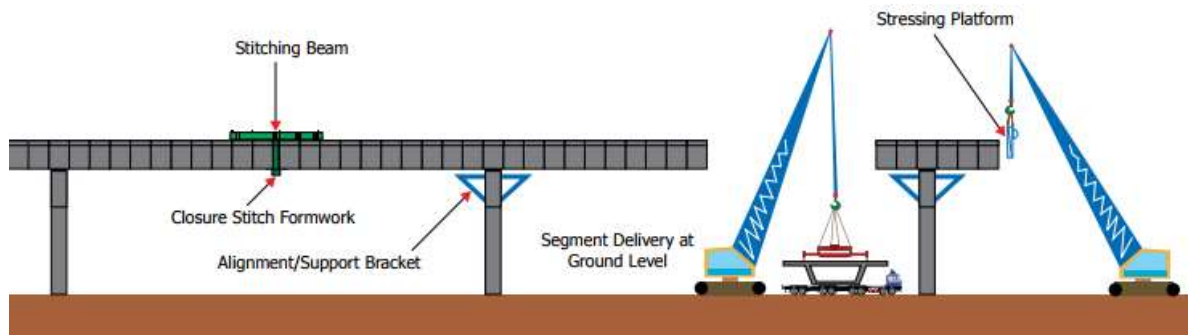
⁶ VSL INTERNATIONAL LTD. Bridge construction partner. Francia, p.3

⁷ ROSIGNOLI, Marco. Self -Launching erection machines for precast concrete bridges,p. 37

⁸ ALE HEAVYLIFT. New heights, p. 6

ilustrará el esquema del sistema constructivo por medio de grúas y el ciclo típico de ella:

Figura 5: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con grúa



Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.14

Tabla 2: Ciclo típico del montaje de grúa

Ciclo típico de montaje	Duración: 8 Pasos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Instalación de las ménsulas del muelle	■	■	■					
Instalación del segmento de muelle				■				
Montaje de segmento - par 1-3					■			
Montaje de segmento - par 4-6						■		
Montaje de segmento - par 7-9							■	
Montaje de segmento - par 10-12								■

Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.15

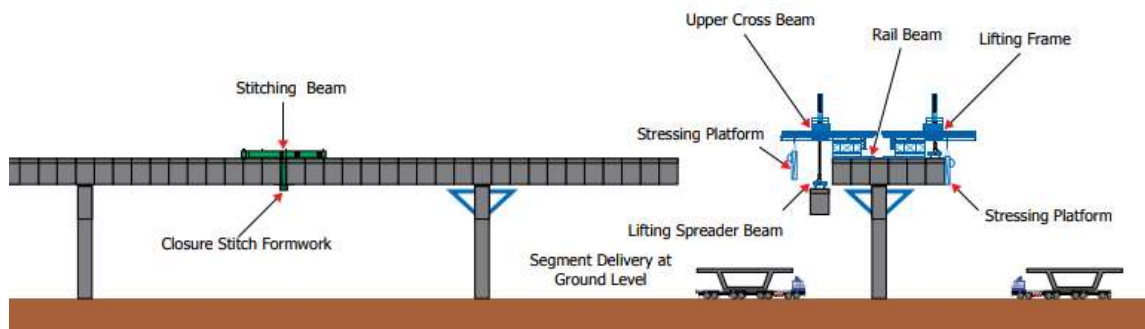
✓ Montaje de segmentos prefabricados con bastidores (Lifting frames): Las entregas de elementos prefabricados consisten en la suspensión de bastidores de elevación, donde generalmente se emplean para terrenos que contengan limitaciones de terreno o cuando se va a realizar una estructura sobre el agua. Por

lo general las vigas prefabricadas son a menudo la solución menos costosa para puentes con tramos de 20-60 m.

Estos bastidores de elevación son proporcionados por varias empresas, ya que para ello incorporan plataformas de trabajo sin obstáculos y accesos seguros a todas las ubicaciones necesarias, simplificando el proceso del montaje. Además, es muy común ver este tipo de mecanismo en el método de cantiléver.

Sin embargo, si el puente está muy alto del suelo, los bastidores de elevación se utilizan menos que las grúas de tierra, debido a su coste y la interrupción al moverse al muelle siguiente, según la experiencia de Rosignoli⁹. En las siguientes figuras se ilustrará el esquema constructivo por medio de bastidores y el ciclo típico del sistema.

Figura 6: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con bastidores



Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.12.

⁹ ROSIGNOLI, Marco.Op.cit, p.45

Tabla 3: Ciclo típico del montaje con bastidores

Ciclo típico de montaje	Duración: 13 pasos												
Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Montaje y emsamble de los bastidores de elevación y ménsulas del muelle	■	■	■										
Montaje de segmento - par 1				■									
Construcción de las juntas				■									
Endurecimiento de las Juntas					■	■							
Montaje de segmento - par 2-3							■						
Montaje de segmento - par 4-5								■					
Montaje de segmento - par 6-7									■				
Montaje de segmento - par 8-9										■			
Montaje de segmento - par 10-11											■		
Montaje de segmento - par 12-13												■	
Retirar bastidores de elevación													■

Fuente: VSL. Bridge construction partner, p. 13

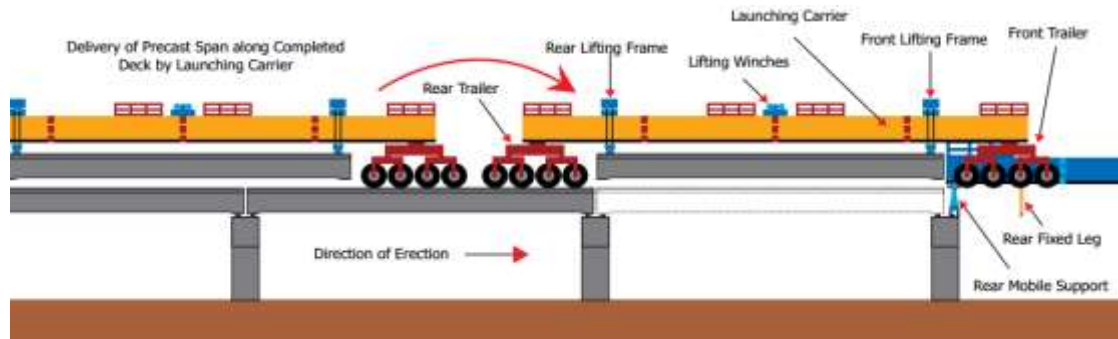
✓ Montaje de segmentos prefabricados con cargadores de rueda (full span):
 Normalmente este sistema es usado para proyectos que requieren desviaciones mínimas en sus tramos de la superestructura y rápidos tiempos de ejecución, donde proporciona un método de ejecución eficiente. Por otra parte, este mecanismo es adecuado para una rápida construcción de alta calidad en estructuras elevadas.

Es frecuentemente las construcciones ferroviarias, son las más adecuadas para este método de montaje. La empresa HUADA tiene experiencia considerable en este campo de montaje, con referencias específicas como los proyectos de Ferrocarril de alta velocidad de Taiwán y el MRT de Singapur¹⁰.

¹⁰ HUADA HEAVY INDUSTRY. Full span launching gantry. China, p.6.

Mientras tanto la tasa de montaje es hasta dos tramos por día con un lanzador. A continuación, se observará el esquema del sistema de cargadores de rueda y también el ciclo típico del montaje.

Figura 7: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con full span



Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.18.

Tabla 4: Ciclo típico del montaje con full span

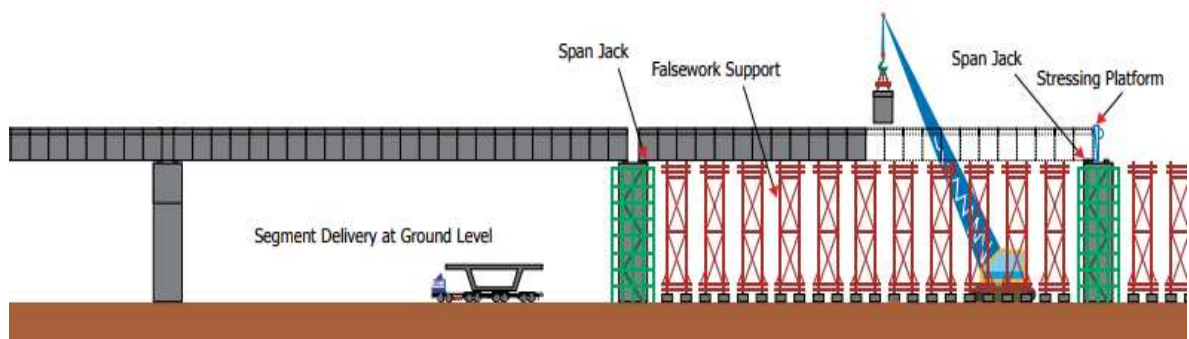
Ciclo típico de montaje	Duración: Ciclo de 1 día (horas)																		
Descripción	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Entrega de los segmentos prefabricados al sitio de construcción																			
construcción de un nuevo vano																			
Regreso del operador lanzamiento al depósito																			
Operador de Lanzamiento disponible para el manejo de la yarda																			
Carga de un nuevo segmento al operador del lanzamiento																			
Transferencia de carga de rodamientos temporales a permanentes																			
Preparación de rodamientos permanentes para la lechada																			
Rodamientos permanentes de lechada																			

Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.19.

✓ Montaje de segmentos prefabricados con formaletas sobre un falso apoyo (falsework): Este sistema tiene la posibilidad de emplear apoyos estacionarios o móviles, donde normalmente se desarrollan para atender cruces por carretera entre ciudades o por ferrocarril. Las estructuras de apoyo incorporan plataformas de acceso de trabajo y pueden incluir contenedores suspendidos para manejar los desechos que caen.

Además, adoptan sistemas de soporte modular para minimizar las duraciones de reubicación y para optimizar las tasas de montaje; donde algunos expertos como VSL indican que sus tasas típicas son de hasta un intervalo cada tres días¹¹. También es muy común ver este tipo de mecanismo en el método de vano a vano. En la siguiente figura se representa un ejemplo de este sistema y también el ciclo típico del montaje:

Figura 8: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con formaletas sobre un falso apoyo (falsework)



Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.20.

¹¹ VSL INTERNATIONAL LTD. Bridge construction partner. Francia, p.19

Tabla 5: Ciclo típico del montaje con formaletas sobre un falso apoyo (falsework)

Ciclo típico de montaje	Duración: Ciclo de 4 días (Días)			
Descripción	1	2	3	4
Instalación de andamios	■			
Montaje de los segmentos		■		
Aliniamiento y encolado			■	
Operación de pos-tensionamiento				■
Transferencia de carga sobre rodamiento permanentes				■

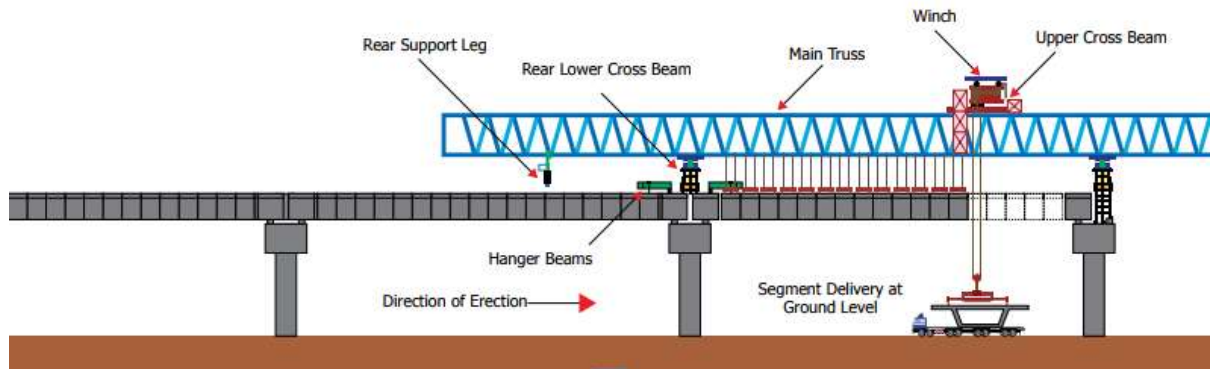
Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.21.

✓ Montaje de segmentos prefabricados con grúa pórtico lanzable (Launching Gantry): Los pórticos de lanzamiento son relativamente más económicos y fácilmente adaptables tanto en longitud como en espaciamiento de las vigas principales. Por esta razón este mecanismo es apto y usado en grandes proyectos por su versatilidad al momento de moverse a lo largo del puente.

Por otra parte, la empresa VSL ha estado involucrado en un gran número de proyectos segmentados con esta metodología, en la región de Asia y América del sur y oriente medio. Generalmente la tasa de montaje se realiza un tramo cada 24 hora.

Además, este sistema es muy común observarlo tanto en el método de vano a vano y Cantilever por su versatilidad y economía. A continuación, se presenta los sistemas utilizados en los métodos mencionados anteriormente y también se ilustra el ciclo típico de cada uno de ellos:

Figura 9: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de vano a vano



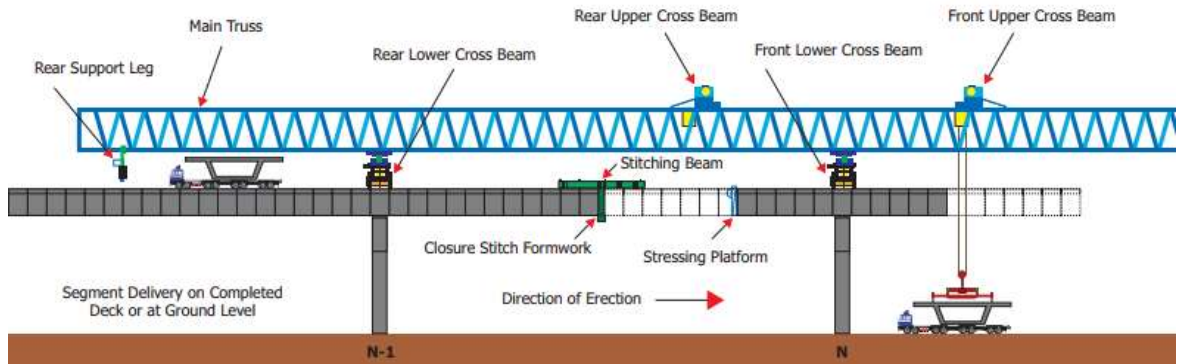
Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.10.

Tabla 6: Ciclo típico del montaje con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de vano a vano

Ciclo típico de montaje	Duración: Ciclo de 4 días (Días)							
	1		2		3		4	
	D/S	N/S	D/S	N/S	D/S	N/S	D/S	N/S
Lanzamiento del pórtico	■							
Colocación de los segmentos		■	■					
Alineación/ encolado de los segmentos			■		■			
Fundición de las juntas					■			
Curación (durante la noche)						■	■	
Instalación de P.T. externo					■		■	
Esfuerzo de P.T. externo								■

Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.11.

Figura 10: Sistema constructivo de los segmentos prefabricados con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de cantiléver



Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.8.

Tabla 7: Ciclo típico del montaje con grúa pórtico lanzable (Launching gantry) por el método de cantiléver

Ciclo típico de montaje	Duración: 6 cambios					
	1	2	3	4	5	6
Descripción						
Vano N-1						
Curado (durante la noche)						
Continuidad del P.T.	■					
Vano N						
Lanzamiento de la grúa al vano N	■					
Construcción de los segmentos para el vano N		■	■	■	■	
Punto N a N-1						■
Vano N+1						
Construcción del segmento del muelle		■				
Alineamiento del segmento del muelle			■			
Colocación del refuerzo			■			
Colocación del encofrado				■		
Diafragma de fundición en in situ					■	
Curación de junta en la columna				■	■	■

Fuente: VSL. Bridge construction partner. Francia, p.9.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PREFABRICADOS

La clasificación que se les da a los prefabricados de concreto, según una investigación realizada por el instituto tecnológico de la construcción¹², se define de acuerdo al uso que se le vaya a dar al proyecto, donde los clasifica de la siguiente manera:

2.3.1 Elemento simple: Es un prefabricado que no lleva ningún tipo de refuerzo

2.3.2 Elemento reforzado: Este tipo de elemento se le aplican esfuerzos internos, con el fin de reducir esfuerzos potenciales de tensión que existen en las vigas apoyadas.

2.3.3 Elemento pretensado: Este proceso es el más utilizado en el campo de la prefabricación, ya que permite una producción en serie, logrando que esta metodología sea más económica.

Por otra parte, este método de pretensado consiste básicamente en dar un presfuerzo al elemento que se está fabricando, consiguiendo el tensionamiento de los tendones antes de vaciar el concreto, y una vez que el concreto adhiere cierta resistencia se sueltan, los cuales tratan de recuperar su longitud inicial.

Este método produce un buen vínculo entre las armaduras y el hormigón, el cual las protege de la oxidación, y permite la transferencia directa de la tensión por medio de la adherencia del hormigón al acero.

¹² GUERRA, Elizabeth. Prefabricados de concreto en la industria de la construcción. México. 2004, p. 10-16.

Figura 11: Esquema de cable en hormigón pretensado



Fuente: TORRES, Anahí; MORALES, Fernanda. Sistemas constructivos: Hormigón pretensado y postensado. Facultad de arquitectura. 2011, p. 7.

2.3.4 Elemento postensado: El postensado presenta una ventaja muy grande en comparación con el pretensado, donde el presfuerzo se da después de colocado el elemento, es decir se tensiona los tendones después de que el concreto haya adquirido cierta resistencia. Cabe mencionar que presfuerzo se realiza por medio de gatos hidráulicos, donde se mide la tensión de cada tendón. Este método postensado puede emplearse tanto para elementos fabricados en planta, a pie de obra o colados en sitio.

Figura 12: Esquema de cable en hormigón postensado



Fuente: TORRES, Anahí; MORALES, Fernanda. Sistemas constructivos: Hormigón pretensado y postensado. Facultad de arquitectura. 2011, p. 7.

A continuación, se presenta las ventajas y desventajas fundamentales del postensado:

Tabla 8: Ventajas y desventajas del método postensado

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Evita la corrosión de los cables</p> <p>-----</p> <p>Da adherencia a los cables a lo largo de la pieza</p>	<p>Se necesita mayor cantidad de acero de refuerzo</p> <p>-----</p> <p>Se requiere inyectar lechada en los tendones, encareciéndose el proceso</p> <p>-----</p> <p>Su fabricación es más lenta, ya que su tensado es pieza por pieza</p>

3 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE PUENTES PREFABRICADOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo estará enfatizado a dar conocimiento de los métodos constructivos para puentes segmentados postensado, ya que la popularidad de esta técnica constructiva ha crecido en el mundo¹³ y es preciso conocer las características que resaltan cada uno de ellos, para la utilización según las dimensiones de la estructura, la tipología determinada, la orografía y la accesibilidad existente donde va a funcionar.

Estos métodos han evolucionado a través de la historia, teniendo su origen a mediados de 1950 que empezó a tomar impulso, en donde se demarco la construcción de prefabricado en Alemania por *Pinsterwalder* y en Francia por *Eugene Freyssinet* y *Jean Muller*¹⁴ y ha venido avanzando hasta la época actual, por lo tanto, cada país ha fomentado la metodología más adecuada y acorde que le genere mayores ventajas económicas y de tiempo.

Los desarrolladores e investigadores en los proyectos de puentes segmentados han tenido como perspectiva la industrialización para la construcción de cualquier tipo de estructura, donde sea posible la utilización de diferentes secciones de vigas en la que sean seguras, funcionales, de impacto ambiental reducido y de bajos costos de producción.

¹³ KRISTENSEN, John. Precast segmental bridge construction part 2 – span by span erection method. P. 2

¹⁴ WAI-FAH, Chen & LIAN, Duan, Segmental concrete bridges, Washington DC. P. 253

Los métodos que se van a trabajar están orientados a la utilización de vigas I (AASHTO) segmentadas, ya que son cómodas de construir en sitio como en fábrica, además, tienen la facilidad de ser transportadas y/o manejadas en la construcción debido a sus dimensiones.

3.2 MÉTODO DE LUZ A LUZ (SPAN-BY-SPAN)

3.2.1 Generalidades: Los puentes construidos con el método vano a vano son de características de luces medias, ya que el diseño que lo compone son segmentos prefabricados y pos-tensados, que pueden ser fabricados en sitio o en fábrica, donde cada segmento es sometido a un pos-tensionamiento con el segmento adyacente después que se le aplica el epoxi (junta seca)¹⁵ o es fundida la junta.

Fotografía 4: Puente la laguna, Estado santa catarina, Brasil



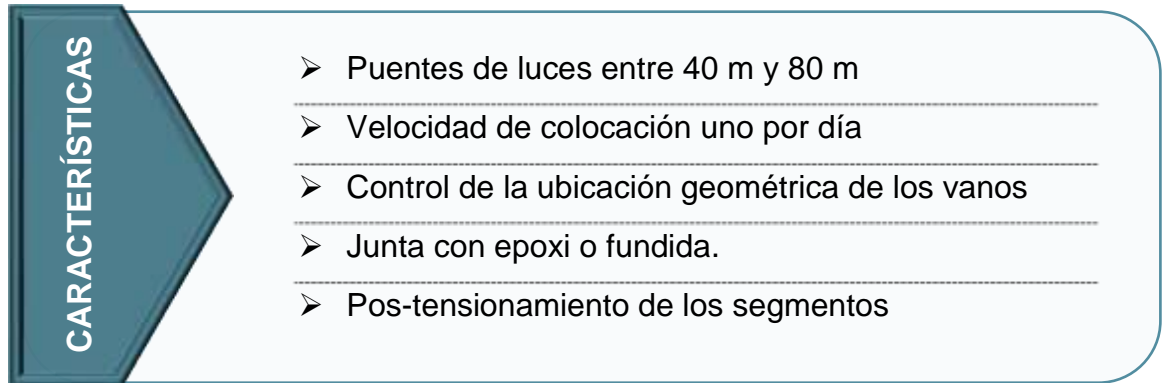
Fuente: <http://www.berd.eu/es/news/berds-launching-gantry-is-constructing-50-meters-of-bridge-in-only-4-days/>

3.2.2 Características del método vano a vano: Este método está diseñado para controlar la colocación de los vanos a medida del avance del proyecto en puentes de luces moderadas, con la utilización de los sistemas constructivos de formaleta

¹⁵ AMERICAN SEGMENTAL BRIDGE INSTITUTE, Construction practices Handbook for segmental and cable-supported bridge. Capítulo 3, p.3.

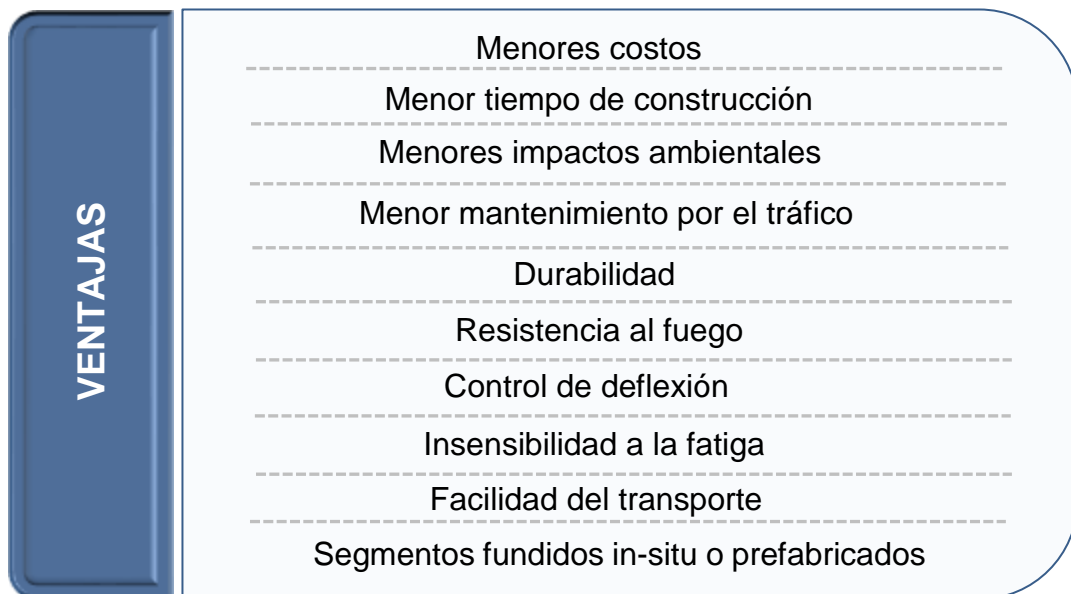
sobre un falso apoyo o con grúa pórtico lanzable¹⁶, estos puentes se caracterizan por:

Cuadro 3: Características del método vano a vano

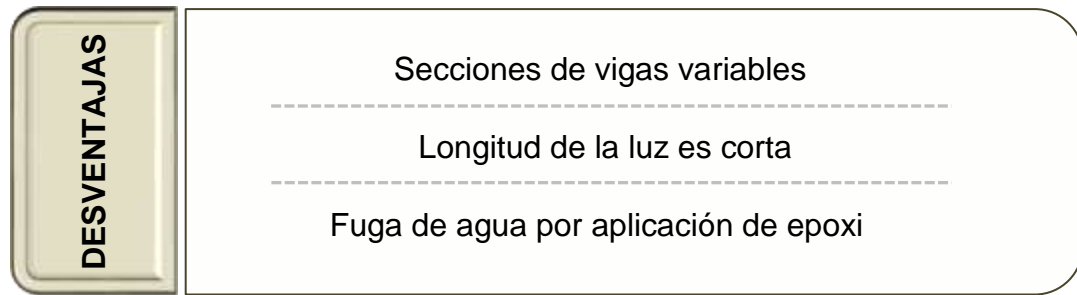


3.2.3 Ventajas y desventajas

Cuadro 4: Ventajas y desventajas del método vano a vano



¹⁶ WAI-FAH, Chen & LIAN, Duan, Superstructure desing, London, New york. Pág. 103



3.3 MÉTODO DE LANZAMIENTO POR INCREMENTO (INCREMENTAL LAUNCHING)

3.3.1 Generalidades: Este método ha sido utilizado en su mayoría en puentes de material de acero debido a su capacidad de tensión y compresión¹⁷, a diferencia del hormigón que ha necesitado la utilización del pretensado, para que el funcionamiento del puente sea efectivo en tanto construcción, vida útil y mantenimiento del mismo.

El lanzamiento incrementado es el método más mecanizado, donde su construcción consiste en la fabricación de segmentos, uno continuo del otro en el extremo inicial del puente, y estos son movido entre los pilares cuando la viga está en condiciones de ser lanzada ya que su estructura es rígida, de forma que estos pasos se repiten consecutivamente hasta terminar en el extremo final, por lo cual están diseñados para puentes rectos o de curvatura uniforme¹⁸ en el que sus apoyos se ubiquen a una distancia igual o radialmente.

¹⁷ WAI-FAH, Chen & LIAN, Duan. *Ibíd*, p. 105.

¹⁸ POLDONY, Walter. *An overview of precast prestressed segmental bridge*. Washington, D.C, p. 71.

Fotografía 5: Puente la marquesa, Cd De México, México



Fuente: <http://www.mexpresa.com/productos/empujados.php>

3.3.2 Características del lanzamiento incrementado: El lanzamiento incrementado se caracteriza por la construcción de la viga en sitio, ya que su forma base es ser construida uno a uno después del primer segmento, y se utiliza cuando los puentes son de dimensiones considerables o hay importantes obstáculos como vías principales, ríos etc., que no se puede intervenir por largos tiempos, estos puentes se caracterizan por:

Cuadro 5: Características del método de lanzamiento por incremento

CARACTERÍSTICA	Segmentos entre 15 [m] y 25 [m]
	Velocidad de construcción del segmento uno por semana
	Control de la ubicación geométrica de los vanos
	No existe articulaciones entre las juntas
	Pos-tensionamiento de los segmentos

3.3.3 Ventajas y desventajas

Cuadro 6: Ventajas y desventajas del método de lanzamiento por incremento

VENTAJAS	<p>No interfieren con el obstáculo al paso superior</p> <hr/> <p>El patio de fundición es pequeño</p> <hr/> <p>Excelente en zonas de ambientes sensibles</p> <hr/> <p>Estricta calidad de garantía de la estructura</p> <hr/> <p>El astillero se puede adaptar fácilmente a las dimensiones del puente</p> <hr/> <p>Aumenta la eficiencia mediante trabajos repetitivos</p>
DESVENTAJAS	<p>Utilización de secciones de viga variables</p> <hr/> <p>Diseño de curvas en el puente</p> <hr/> <p>Mayor costo en los trabajadores</p> <hr/> <p>Segmentos fundidos en in-situ</p> <hr/> <p>Nivel más alto de seguridad de los trabajadores</p>

3.4 MÉTODO PROGRESIVO POR VOLADIZO

3.4.1 Generalidades: La colocación progresiva de vanos segmentados, es una metodología eficiente para los lugares con dificultades de acceso, de terrenos suaves o ambientales, ya que su aplicación es considerada una viga en voladizo, debido a que los segmentos estarán colgados y pos-tensados.

El inicio de la construcción es desde un extremo del puente o de un pilar, esta metodología puede ser trabajada con secciones de viga hechas en sitio o prefabricada, en la que tendrán un comportamiento similar al que el puente hubiese sido fundido en sitio¹⁹.

Fotografía 6: Viaducto del Regueirón, Asturias, España



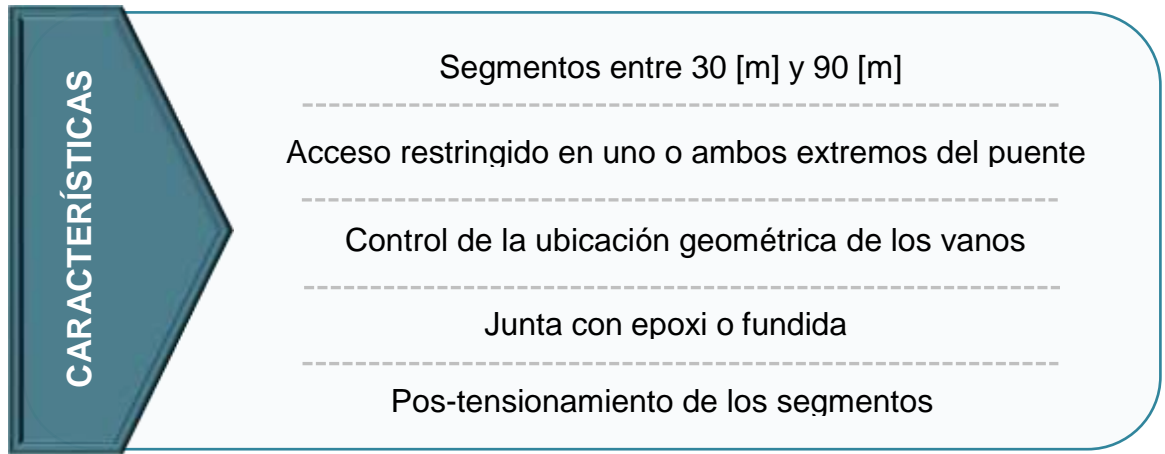
Fuente: <http://www.elsevier.es/es-revista-hormigon-acero-394-articulo-nuevo-metodo-lanzamiento-sistema-empuje-S0439568915000510>

3.4.2 Características del método progresivo: Los puentes construidos por voladizos sucesivos, han sido muy útiles en lugares con consideraciones especiales, ya que su estructura está constituida por pequeños segmentos que dan la facilidad de ubicación y forma a la estructura, lo que ha dado paso a que los puentes puedan ser de mayor longitud o considerables entre pilas, aunque por estas distancias se formarán momentos de flexión excesivamente altos, en la etapa de construcción, lo que dará que estén ligados a que los muelles de soportes resistan durante toda la fase²⁰, estos puentes se caracterizan por:

¹⁹ COMBAULT, Jacques. Precast concrete segments for bridges. Pág. 17

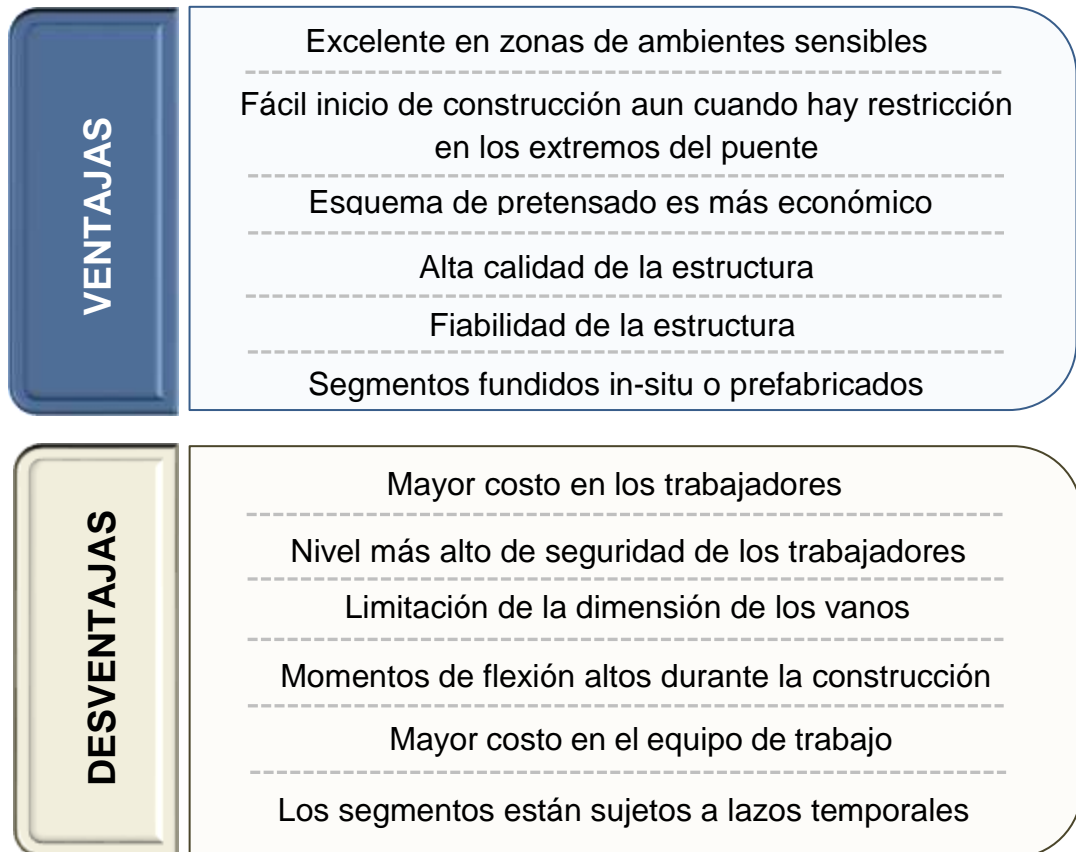
²⁰ WAI-FAH, Chen & LIAN, Duan, Segmental concrete bridges, Washington DC. Pág. 261

Cuadro 7: Características del método progresivo por voladizos



3.4.3 Ventajas y desventajas

Cuadro 8: Ventajas y desventajas del método progresivo por voladizos



3.5 MÉTODO DE CANTILIEVER

3.5.1 Generalidades: Este método de voladizo libre es el más utilizado para luces de grandes dimensiones, ya que su estructura radica en la construcción de las vigas en equilibrio desde el mástil o punto fijo²¹ hacia el centro de luz y unión del cantiliever, en el cuál se utilizan segmentos prefabricados o colados en sitio²², donde está diseñado para tener márgenes de seguridad mínimos y costos de trabajo moderados.

3.5.2 Características del método cantiliever: Los cantiliever balanceados se han caracterizado por su forma de construcción con vigas cajón, en la que actualmente se construyen alrededor del mundo para los puentes colgantes o extradosados²³ en los que sus construcciones son iniciadas desde las columnas uniendo segmentos a cada lado generando redistribuciones de momentos en la estructura, que son controlados con ligeros aumentos en el pretensado de los segmentos²⁴, estos puentes se caracterizan en el cuadro 9 por:

²¹ WAI-FAH, Chen & LIAN, Duan, Superstructure desing, London, New york. Pág. 97

²² AMERICAN SEGMENTAL BRIDGE INSTITUTE, Construction practices Handbook for segmental and cable-supported bridge. Capítulo 1, p. 5 – 8.

²³ LOPEZ, Elkin & VANEGAS. Sergio. Sistemas constructivos en puentes con pretensado extradosado, estado del arte. Colombia, p. 113.

²⁴ POLDONY, Walter. An overview of precast pretressed segmental bridge. Washington, D.C, p. 64.

Fotografía 7: Puente atirantado Queensferry Crossing, Escocia



Fuente: <https://www.structuralia.com/mx/blog/23-carreteras/10002079-el-puente-atirantado-queensferry-crossing-una-estructura-de-record>

Cuadro 9: Características del método cantiléver

CARACTERÍSTICAS	Segmentos entre 3 [m] y 10 [m]
	Luces de gran longitud
	Varios frentes de trabajo y menor tiempo de construcción
	Velocidad de montaje hasta 6 segmentos
	Pos-tensionamiento de los segmentos
	Juntas fundidas

3.5.3 Ventajas y desventajas

Cuadro 10: Ventajas y desventajas del método cantiléver

VENTAJAS	<p>Útil para dimensiones de puentes largos</p> <hr/> <p>Nivel de seguridad mínima</p> <hr/> <p>Costo de la construcción moderada</p> <hr/> <p>Menor efecto de arrastre y contracción</p> <hr/> <p>Alto control de calidad de la estructura</p> <hr/> <p>Flexibilidad en la utilización del equipo de montaje</p> <hr/> <p>Facilidad de transporte</p> <hr/> <p>Segmentos cortos</p> <hr/> <p>Segmentos fundidos in-situ o prefabricados</p>
DESVENTAJAS	<p>Tiempo de construcción de la estructura</p> <hr/> <p>Nivel más alto de seguridad de los trabajadores</p> <hr/> <p>Momentos de flexión redistribuidos</p> <hr/> <p>Momentos de flexión altos durante la construcción</p>

4 ASPECTOS GENERALES DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

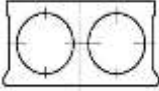




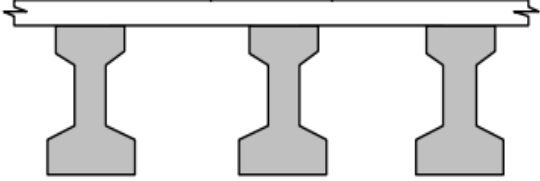
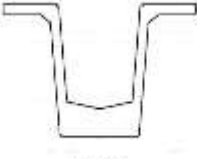
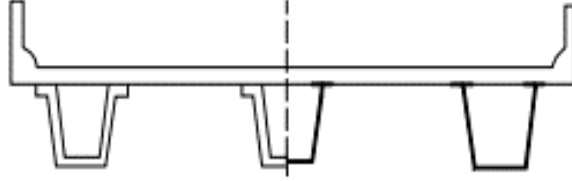

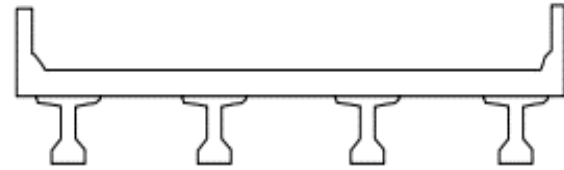

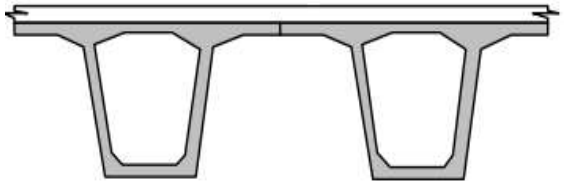
4.1 INTRODUCCIÓN

A finales de los años cincuenta, la Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) y el Instituto de Hormigón Prefabricado / Pretensado (PCI) desarrollaron un conjunto de secciones estandarizadas de vigas²⁵ (Figura 13). Aunque las vigas en I son la forma más común usadas, pueden emplearse otras formas tales como la viga en U, vigas de una y doble puntada, viga de caja rectangular, losa plana y viguetas de losas anuladas. Cada tipo de superestructura se explicará en la tabla 9 sobre algunas características que resaltan cada una de ellas.

Aunque hoy en día las tendencias en la utilización del tipo de viga más comunes o estandarizadas han estado cambiando, por el avance de nuevas formas y requerimientos en las normativas, no han dejado de ser populares las vigas I, y cajón, por sus capacidades y características que contienen a la hora realizar o construir algún proyecto relacionados con puentes prefabricados, reduciendo así el tiempo de ejecución y economía de la obra.

²⁵ PCI. Bridge design manual.2011. Vol. 3.

Figura 13: Tipos de vigas prefabricadas

Tipo de viga	Sección transversal Típica	
Vigas de doble hueco	 <p>DOUBLE HOLLOW CORE BEAM</p>	
Vigas de hueco simple	 <p>SINGLE HOLLOW CORE BEAM</p>	
Vigas I (AASHTO)	 <p>I-BEAM</p>	
Vigas super T o U	 <p>SUPER T BEAM</p>	
Vigas doble Tee o Tee		
Vigas cajón		

4.2 RANGOS DE ALCANCE DE LAS DIFERENTES VIGAS

En diferentes países desarrollados emplean distintas secciones de viga, dependiendo del alcance y de las condiciones del proyecto a trabajar, como, en el caso de, “American del Norte diseñaron vigas que se adaptan a sus condiciones particulares dando lugar a una variedad de formas de viga largas y con secciones comunes, en cambio en el Reino Unido seleccionan la nuevas formas de viga que se están acogiendo en la actualidad, por ciertos factores como las cargas de diseño, materiales, código de diseño según rige el país”²⁶.

A continuación, se ilustra los rangos aptos para la construcción de puentes en los diferentes tipos de vigas prefabricadas, que comúnmente son empleados a nivel internacional y nacional, los cuales son los siguientes:

Cuadro 11: Rangos de alcance de las vigas

Tipo de viga	Longitud del vano (m)													
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25	30	35	40
Vigas de hueco simple														
Vigas doble Tee														
Vigas Tee														
Vigas super T														
Vigas I														
Vigas cajón														

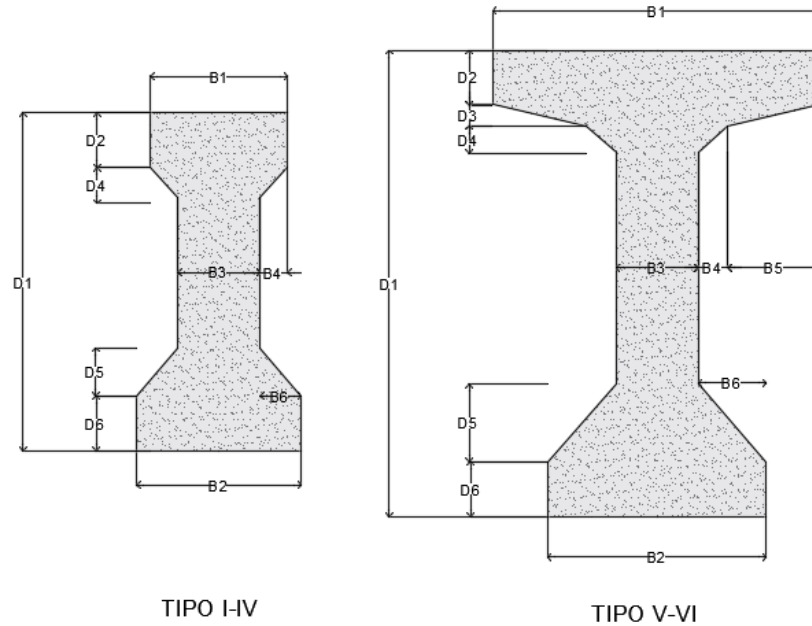
Las características, ventajas e inconvenientes de las secciones transversales que se mencionaron anteriormente se encontrarán en la tabla 9. Dicha información fue basada por diversas especificaciones que rigen en varios países como la AASHTO.

²⁶ BROWN, Geoff, *et al.* New standard bridge beams for New Zealand, p.3.

4.3 ESPECIFICACIONES DE LAS VIGAS I AASHTO

Las especificaciones estándares de la norma ASSHTO recomienda diferentes tipos de secciones transversales de vigas I, que simplifican el diseño debido a su peso propio moderado, facilidad de fabricación y disponibilidad inmediata. A continuación, se ilustrarán seis tipologías de vigas I (AASHTO), con sus respectivas dimensiones:

Figura 14: Tipos de vigas I AASHTO



Fuente: https://www.pci.org/PCI_Docs/Design_Resources/Transportation_Resources/AASHTO%20I%20Beams.pdf

Tabla 9: Clasificación de las vigas I AASHTO

Tipo de viga I	[cm]											
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
I	71.12	10.16	0	7.62	12.7	12.7	30.48	40.64	15.24	7.62	0	12.7
II	91.44	15.24	0	7.62	15.24	15.24	30.48	45.72	15.24	7.62	0	15.24
III	114.3	17.78	0	11.43	19.05	17.78	40.64	55.88	17.78	11.43	0	19.05
IV	137.16	20.32	0	15.24	22.86	20.32	50.8	66.04	20.32	15.24	0	22.86
V	160.02	12.7	7.62	10.16	25.4	20.32	106.68	71.12	20.32	10.16	33.02	25.4
VI	182.88	12.7	7.62	10.16	25.4	20.32	106.68	71.12	20.32	10.16	33.02	25.4

Fuente: https://www.pci.org/PCI_Docs/Design_Resources/Transportation_Resources/AASHTO%20I%20Beams.pdf

Tabla 10 Especificaciones de los diferentes tipos de vigas

criterio	Vigas de hueco simple	Vigas Tee	Vigas doble Tee	Vigas I	Vigas super T	Vigas cajón
Flexibilidad	Son aptos para vanos de hasta 14 [m]. No es tan flexible para puentes curvos, o altamente sesgados.	Muy flexibles para vanos de 10 hasta 25 [m]	Son aptos para vanos de 6 hasta 20 [m]	Muy flexible para vanos de hasta 35 [m]. También se consideran buenos para puentes curvos	Son aptos para vanos de hasta 35m. flexibilidad limitada para puentes curvos.	Muy flexibles para vanos de hasta 40 m. Son muy flexibles para puentes curvos
Costo	Preferido por algunos pequeños contratistas con grúas pequeñas, pero generalmente no económicos	Es la segunda opción mas económica después de la vigas I	Se puede utilizar como una combinación de techo / piso, y por lo tanto ahorro de costes de material y acelerar la construcción	Es una solución económica para luces de medio rango a comparado a las otras secciones	Son rentables para algunos proyectos en la actualidad	Esta tipología de sección es la más costosa, debido a su dificultad de manejo durante la fabricación
Mantenimiento	Posible preocupación en las juntas longitudinales	Son buenas, pero se debe tener precaución en la unión entre las juntas	Requieren bajo cuidado adicional	Son buenas, aunque algunas cubiertas pueden necesitar ser aumentadas	No necesitan preocupación	El mantenimiento de una viga de cajón puede ser más fácil, porque el espacio interior puede hacerse accesible directamente.
Formas de estandarización	Pueden utilizarse moldes existentes.	Existen diversos moldes apropiados, para cada tipo de proyecto	El diseño de los moldes permiten que la cubierta actúe integralmente con la superestructura	Existen diferentes modelo para todas las tipologías que se pueden emplear, pero comúnmente no son disponibles para vigas de gran altura	En la actualidad no se encuentran todos los moldes de esta tipología	La forma de la viga de caja puede variar mucho. Es por esta razón que existen diferentes moldes para cualquier diseño de un proyecto, variando desde
Peso de la viga	Las vigas prefabricadas están dentro de la capacidad de grúa disponible	El peso de las vigas prefabricadas son adecuadas para puentes de luces medias, ya que no necesita recurrir a equipos especiales	Son vigas que necesitan equipos especiales por su peso.	Las vigas están dentro de la capacidad existente de una grúa hasta 30 [m] de largo. Los tramos más largos tienden a ser más pesados	Las vigas están dentro de la capacidad de una grúa disponible	Debido a gran capacidad de las vigas, es necesario emplear equipos especiales
Apariencia	En el caso de un incendio, las placas de núcleo hueco son menos costosas de renovar	Son populares para puentes de carretera secundaria y en ciudades por su estética	Son ideales para sistemas que requieren tramos largos o interrumpidos	Son aptas para las zonas rurales, pero menos aceptable para los puentes urbanos	Son buenas para puentes que contiene una inclinación o para losas salientes	El aumento en el ancho de la brida de la viga de cajón hace posible el uso de grandes relaciones espacio y profundidad
Reducción del trabajo en sitio	Las vigas prefabricados minimizan el trabajo en el sitio	No requiere encofrado en el sitio	La fabricación el montaje son más rápidas, a comparación de las estructuras fundidas en sitio	Las vigas prefabricadas minimiza el trabajo en sitio	Se requiere una losa In Situ, pero las superficies prefabricadas actúan como encofrado	La fabricación es la mejor opción cuando se trabaja sobre agua ó a gran altura

4.3.1 Rangos de alcance para los tipos de vigas I AASHTO

La elaboración de vigas I prefabricadas para las diferentes tipologías, varía según sus dimensiones y características que contienen, donde cada una de ellas están diseñadas para un rango específico de luz. A continuación, se observa los rangos típicos que generalmente utilizan a nivel mundial en las vigas I AASHTO:

Cuadro 12 Rango de alcance para los tipos de vigas I AASHTO

Tipo de viga I AASHTO	Longitud del vano (m)													
	10	14	16	18	20	22	24	26	27	30	33	35	37	40
I	■													
II		■	■	■	■									
III			■	■	■	■	■	■						
IV					■	■	■	■	■	■				
V									■	■	■	■	■	■
VI											■	■	■	■

Fuente: https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc304027/m2/1/high_res_d/metadc304027.pdf

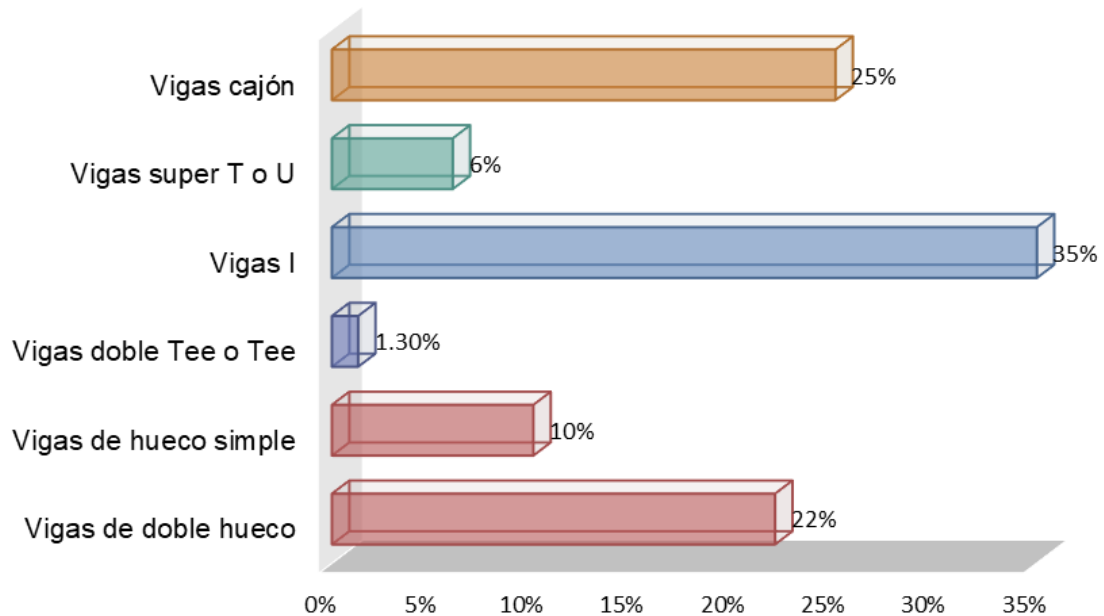
4.3.2 Popularidad de las vigas I prefabricadas

Sin alguna duda el continente americano se rige por las normas de la Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) para el diseño y construcción de puentes, pero sin embargo en otros países del mundo no se abstienen a cumplir la norma americana, sino en cambio emplean sus propias especificaciones.

Pero, aun así, a nivel mundial se siguen utilizando las vigas más comunes que desde la época anterior la empleaban, según una investigación realizada por New

Zelanda²⁷, donde las secciones más populares para la prefabricación de puentes son las siguientes:

Diagrama 1: Porcentaje de producción de vigas prefabricadas



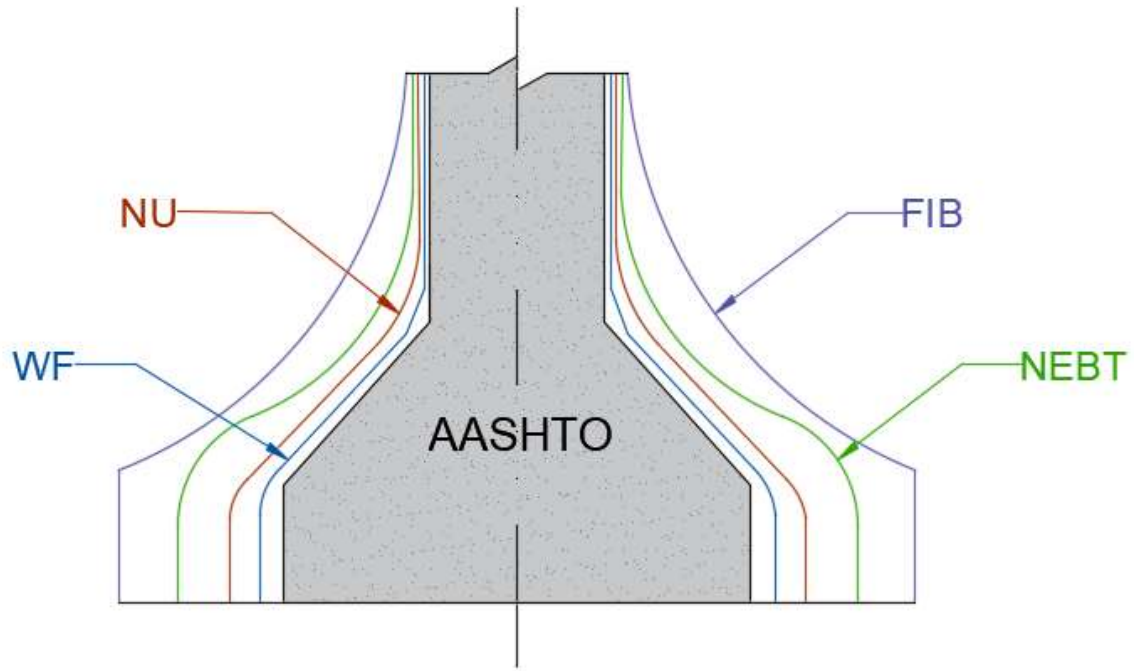
Fuente: GRAY, Alex. Et. At. New standard precast concrete bridge beams. Stage 1, p. 26.

4.4 TIPOS DE VIGA I EMPLEADAS EN ESTADOS UNIDOS

En varios departamentos de transporte en los Estados Unidos han desarrollado y producido sus propias secciones estándar de vigas I, a partir de las especificaciones dadas por la Asociación Americana Estatal de Carreteras y Autopistas (AASHTO); con el fin de mejorar y perfeccionar la eficiencia de estas vigas. En la siguiente tabla, se comparan los diferentes perfiles que existen en cada estado de USA:

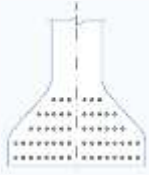
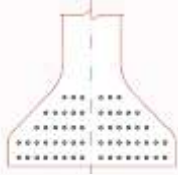
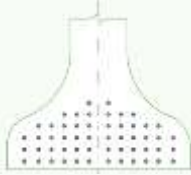
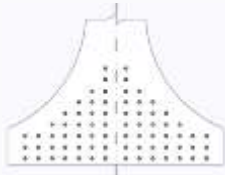
²⁷ GRAY, Alex. New standard precast concrete bridge beams. En transfund New Zeland , 2003, p. 26

Figura 15: Idealización de las vigas I en Estados Unidos



Fuente: PCI. Bridge design Manual. P. 11

Tabla 11: Vigas I en Estados Unidos

Criterio	WF	NU	NEBT	FIB
Encargado	Departamento de transporte de Washington [WSDOT]	Departamento de carreteras de Nebraska [NDOR]	Departamento de transporte del noreste	Departamento de transporte de la Florida [FDOT]
Diseño	El diseño de los bordes afilados facilita la colocación y consolidación del concreto de manera similar a la superficie curva de las vigas NU	El diseño de los bordes curvos reduce la concentración del esfuerzo y ayudan al flujo de concreto durante la fabricación.	El diseño del empalme de las vigas permite longitudes de tramo más largos y eliminación de pilares intermedios,; proporcionando menores costos, operación y mantenimiento para la estructura durante su vida útil	El diseño de estas vigas permiten mayor capacidad de carga, una fabricación más eficiente, construcción más segura, mayor rigidez lateral debido a las bridas más altas y inferiores.
Flexibilidad	Son vigas flexibles para vanos hasta 60 [m]	Son aptas para vigas largas de hasta 90 [m]	Son vigas flexibles para vanos de hasta 45 [m]	Son aptas para vanos de hasta 64 [m]
Forma de estandarización	Las bridas anchas en las vigas WF permite tener mejor rigidez lateral	El ancho de la brida superior permite una mejor plataforma de trabajo y una cubierta más corta. El ancho de la brida inferior permite una mayor capacidad de la hebra para vanos simples y proporciona una mayor capacidad de momento negativo para vanos continuos.	Las bridas más anchas en las vigas NEBT permiten el uso de una losa más delgada de la cubierta, reduciendo los costos adicionales	Las bridas superior e inferior son idénticas, teniendo el mismo ancho. Una ventaja que proporciona la brida inferior que sea ancha, es que permite tener más filamentos de pretensado que dan como resultado una capacidad de extensión más larga y / o un espaciamiento más amplio de la viga.
Comparación	El espesor de la WF es de 5 mm más delgada, que la serie de vigas NU y en la brida inferior permite tener 40% más filamentos que las vigas Bulb-Tee	las vigas NU-I proporcionan una longitud de tramo máxima de hasta un 10% más de longitud con una viga AASHTO	Fueron diseñadas para reemplazar las vigas tipo V y VI AASHTO	El ahorro del uso de cuatro vigas FDOT es alrededor del 24% del costo original cuando se utilizan vigas Tipo III AASHTO
Numero de filamentos en la brida	Hasta 60 filamentos	Hasta 60 filamentos	Hasta 54 filamentos	Hasta 72 filamentos
Propiedades de las secciones	Ver ANEXO A	Ver ANEXO A	Ver ANEXO A	Ver ANEXO A
Diseño de filamentos				

5 EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS

5.1 ÁMBITO INTERNACIONAL

Las metodologías de construcción de puentes a nivel mundial son totalmente diferentes a lo imaginado del siglo pasado, ya que en estos momentos la mayor parte de los países desarrollados cuenta con tecnología a su disposición, que están beneficiando a grandes proyectos de construcción de puentes, de tal manera que se están reduciendo el tiempo de ejecución de la obra de manera rápida y eficaz.

Un claro ejemplo de ello es en EE. UU donde la Administración Federal de Carretera (FHWA) y la Asociación de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO), emplean una iniciativa llamada “Todos los días cuenta” (EDC)²⁸, cuyo objetivo es acortar el tiempo total de entrega de proyecto, mejorar la seguridad y proteger el medio ambiente tanto en los proyectos de construcción como en los alrededores.

Un enfoque principal de esta iniciativa se denomina construcción de puentes acelerados (ABC), donde surge a la necesidad de reconstruir las principales carreteras, minimizando el tiempo ejecución en la obra, aumentó de calidad y costos reducidos del ciclo de vida. Un modelo representativo de ABC está relacionado con la adopción de segmentos prefabricados que forman la superestructura y la subestructura del puente.

Cada vez, la aceptación de los puentes prefabricados es más empleado a nivel mundial, por diseñadores y constructores de puentes, debido a su mejores aportes

²⁸ RODDENBERRY, Michelle. Prefabricated/Precast bridge elements and systems (PBES) for off-systems bridges. Florida. 2012, p. 1.

y ofrecimientos tanto en la reducción del tiempo de ejecución como en el costo, significando una de las excelentes alternativas para cualquier proyecto en particular.

Es por esto que (PBES) puede resolver muchos desafíos de constructibilidad en Colombia, donde la mayor parte de los puentes de propiedad pública en el país, son estructuralmente deficientes u funcionalmente obsoletos. Por lo tanto, se busca apoyar el uso de esta metodología, como una manera económica de abordar este problema mientras aumenta la calidad, reduce costos, tiempo de ejecución y apoya la seguridad.

5.1.1 Análisis de proyectos a nivel internacional: Posteriormente, se mencionará las características más sobresalientes que contemplan algunos puentes construidos a nivel mundial, con vigas I prefabricadas:

5.1.1.1 State route 162/6 puyalluo river bridge (Washington): Este puente fue diseñado para el reemplazo del ya existente en la state route 162, el cual fue construido paralelamente al que está en servicio, donde fue posible mantener el tráfico normal sin alterar la movilidad; ya que está situado en una autopista de dos carriles que conecta a varias ciudades del oeste de Washington en Estados Unidos.

El puente conocido como McMillin funcionó durante 81 años, en el cual alcanzo su límite de funcionalidad, donde se impusieron criterios de diseño que fueran acordes para el estado cumpliendo con los estándares actuales de ingeniería y seguridad, este proyecto inicio en el año 2011.

Fotografía 8: Puente McMillin y State route 162/6 puyalluo river bridge



Fuente: <http://www.aspirebridge.com/magazine/2016Summer/Unused/PROJECT-STATE%20ROUTE%20162-6%20PUYALLUP%20RIVER%20BRIDGE.pdf>

A continuación, se describirá algunos aspectos importantes que contiene este proyecto:

✓ Construcción de la superestructura: La estructura requirió de dos tramos de vigas pretensadas de 33.5 y 48.8 metros, de forma que el muelle central se pudiera ubicar fuera del río manteniendo el flujo hidráulico; cada tramo está compuesto de 6 vigas pretensadas como se ve en la figura 12, que tienen una curva horizontal de 1000 metros de radio a lo largo de toda su longitud, de las cuales la velocidad de construcción fue de 1 día por viga que se realizó en fábrica, en la que se hicieron en dos etapas llevando una diferencia de edad de 8 días, en donde la construcción se realizó en 120 días a 40°C que cubría la colocación de las 12 vigas y la cubierta, junto con las juntas que fueron fundidas en sitio, para el proyecto la viga que fue empleada fue del tipo I llamada WF74G del Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT), debido a que es una viga de hormigón pretensado y ligera para para el tamaño requerido²⁹.

²⁹ CHAPAMAN, David Chapman; SCHULTS, Eric; KHALEGHI, Bijan. State Route 162/6 Puyallup River Bridge. EN: ASPIRE, Summer 2016. Pág 19

✓ Ventajas y desventajas:

Cuadro 13: Ventajas y desventajas de la construcción del state route 162/6 puyalluo river bridge

VENTAJAS	<p>Reducción de peso de 1335 [KN]</p> <p>Reducción del tamaño de la subestructura</p> <p>Reducción de las vigas transversales</p> <p>Reducción de costos</p> <p>Utilización de maquinaria pequeña</p>
DESVENTAJAS	<p>Tramo de vigas no simétricos</p> <p>Altos costos por curvatura</p> <p>Refuerzo variable por la curvatura</p>

✓ Descripción del puente:

Cuadro 14: Descripción de la construcción del state route 162/6 puyalluo river bridge

DESCRIPCIÓN	<p>Viga I WF74G</p> <p>Dos tramos de 33.5 [m] y 48.8 [m]</p> <p>12 vigas I</p> <p>Dos vías</p> <p>Vigas prefabricadas industriales</p> <p>Junta seca</p> <p>Pilares, columnas y ejes fundidos in-situ</p> <p>Construcción en dos etapas</p>
--------------------	---

5.1.1.2 State route 385 over the wolf river (Tennessee, Estados Unidos): Está superestructura se diseñó para mejorar la movilidad del suroeste de Tennessee, en la que fue un complemento para las rutas estatales 193 y 196 en los estados de Fayette y Shelby, ya que este proyecto en fase de propuesta se planteó de 9 puentes de los cuales fueran de vigas prefabricados y de hormigón pretensado, dado las características del suelo en el embarcadero de Mississippi, al final esta obra también conocida como I-269 termino de 8 puentes para la ruta 385 sobre el rio Wolf.

Fotografía 10: State route 385 over the wolf river



Fuente: Aspiere fall 2014

A continuación, se describirá algunos aspectos importantes que contiene este proyecto:

✓ Construcción de la superestructura: La construcción se determinó que serían vigas prefabricadas, ya que las alternativas que se plantearon de estructura metálica tendrían mayores costos de construcción y mantenimiento por problemas de suelo, esto fueron datos dados por las 18 perforaciones 24 [m] de profundidad que se hicieron; Las vigas que se definieron para los 8 puentes fueron Bulb tee y AASHTO prefabricadas y segmentales que tuvieron un valor económico que se presenta en

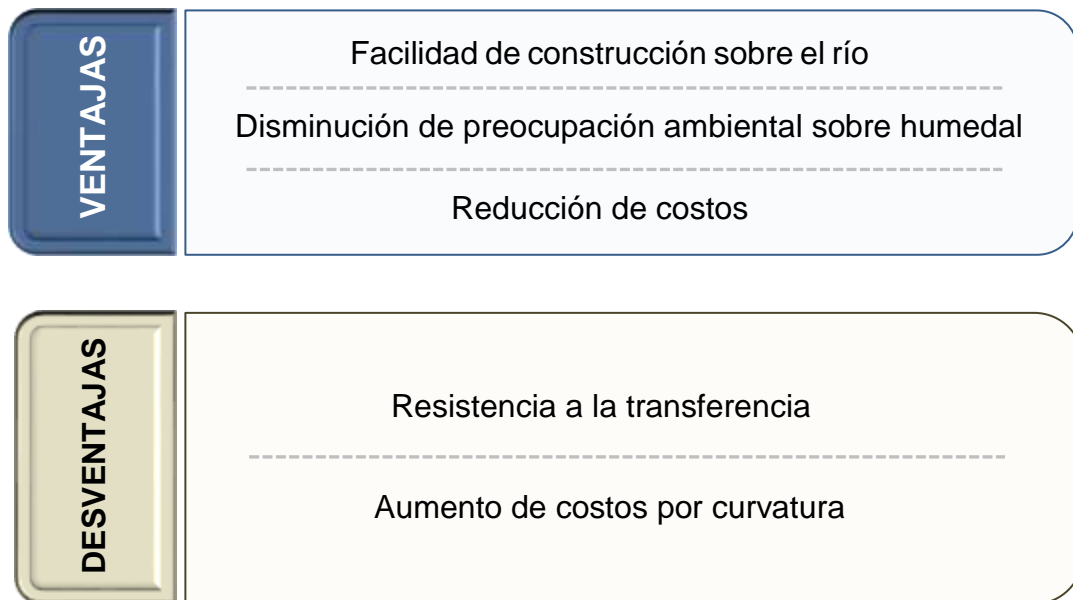
la tabla 12 y con un radio de curvatura de 873 [m], también se diseñó con una cubierta de 9 [cm] recubiertos y con juntas de epoxi, en estos puentes se instalaron 6350 [m] de pilotes de hormigón prefabricado y de 35 [cm²] de área³⁰.

Tabla 12: Precios vigas segmentadas prefabricadas

TIPO DE VIGA	EE. UU.	Colombia
	\$/ft	COP/ft
AASHTO II	85	170,000
AASHTO IV	150	300,000
BULB TEE 54	129	258,000
BULB TEE 63	175	350,000
BULB TEE 72	155	310,000

✓ Ventajas y desventajas:

Cuadro 15: Ventajas y desventajas de la construcción del state route 385 over the wolf river



³⁰ HUFF, Tim. Spanning the Wolf River Wetlands in Tennessee. EN: ASPIRE. Fall 2014. Pág 15-16

✓ Descripción del puente:

Cuadro 16: Descripción de la construcción del state route 385 over the wolf river

DESCRIPCIÓN	Viga I AASHTO (II y IV) y bulb tee (54,63 y 72)
	33 tramos
	Longitud total 991 [m]
	Dos vías
	Vigas prefabricadas industriales
	Junta con epoxi
	Pilares, columnas y ejes fundidos en in-situ

5.1.1.3 I-10/SR 303L system traffic interchange (Arizona, Estados Unidos): Es un sistema de varios puentes multi-direccional de intercambio de tráfico compuesto de cinco niveles en la state route 303 L en Maricopa, Arizona, el cual fue diseñado para mejorar las operaciones de movilidad para los cruces locales y las vías principales siendo el sistema más grande y complejo creado en la zona, compuesto de 14 puentes con rampas del este al (EN), (SE), (WS) y (NW), el cual fue diseñado con vigas prefabricadas I AASHTO y viga cajón.

Fotografía 11: I-10/SR 303L system traffic interchange



Fuente: Aspire 2016 winter

✓ Construcción de la superestructura: La construcción de los intercambiadores se diseñaron de 12 puentes de viga cajón y 2 de viga I AASHTO, proyectado para tres carriles en cada dirección, el cual fue puesto en varias etapas, debido al gran flujo vehicular, tendrían que poner el sistema de falso apoyo para la construcción a diferencia del Sarival Avenue que no sería necesario esta adecuación, ya que el puente está construido con las vigas más económicas, las tipo V AASHTO fabricadas en sitio y post tensionadas el cual tenían un valor de 65 \$ por ft, además estas estructuras también generaron el cumplimiento del cronograma como maximizar el uso de relleno en los apoyos de estas³¹.

✓ Ventajas y desventajas:

Cuadro 17: Ventajas y desventajas de la construcción del I-10/SR 303L system traffic interchange. Descripción del puente:

VENTAJAS	Facilidad de construcción
	Mejor rentabilidad
	Mayor eficiencia
	Vigas más económicas
	Construcción en 5 meses
	Reducción de alturas en los puentes
	Maximización del uso de relleno
	Mejor estética
DESVENTAJA	Cortas distancia de los vanos

³¹ BAIRD, Andrew. I-10/SR 303L System Traffic Interchange. EN: ASPIRE. Winter 2016. Pág 22-23

Cuadro 18: Descripción de la construcción del state route 385 over the wolf river

DESCRIPCIÓN	Viga I AASHTO (V) y viga cajón
	3 tramos
	Longitud de 75 [m]
	Tres vías
	Vigas prefabricadas in-situ
	Junta fundida
	Pilares, columnas y ejes fundidos in-situ

5.2 ÁMBITO NACIONAL

La industrialización colombiana de prefabricados presenta un gran atraso frente a la industria mundial, ya que la mayor parte de las construcciones de puentes se han centrado en elementos simples e in situ. Para lograr los niveles de la industria extranjera, como la de Estados Unidos y Europa, debemos invertir en la tecnificación de nuestra industria y en la capacitación de nuestro personal, partiendo desde nuestros ingenieros y arquitectos. Es por esta razón que el gobierno colombiano está empleando un plan gubernamental que tiene la finalidad de actualizar la infraestructura colombiana, de tal manera que busca que la sostenibilidad, la durabilidad, la calidad, el tiempo y la economía sean el papel más importante para el desarrollo de proyectos de construcción en puentes.

Es aquí donde los sistemas prefabricado aporta ese salto hacia la modernidad, el desarrollo y la eficacia, con mejores opciones de suplir las necesidades actuales en la construcción colombiana. Es por esta razón que el propósito de este trabajo de investigación es brindar un panorama positivo ante la concepción, diseño y construcción de vigas I prefabricados en Colombia, debido a que es la mejor opción viable para puentes de media luces.

5.2.1 Análisis de proyectos a nivel nacional: La tendencia a nivel mundial en la utilización de vigas prefabricadas ha hecho a que Colombia empezará a tener acogida de estos elementos en los últimos años, donde en estos momentos existe dos megas proyectos que contempla la modernización de la infraestructura en nuestro país, ya que está aportando valor agregado en la optimización de costos y tiempos de ejecución. A continuación, se mencionará algunas especificaciones importantes que sobresalen en los proyectos, los cuales son los siguientes:

5.2.1.1 Viaducto sobre ciénaga de la virgen en Cartagena: El proyecto del viaducto sobre ciénaga forma parte de la autopista de cuarta generación (4G) Cartagena – Barranquilla, donde está a cargo por la agencia nacional de infraestructura (ANI). Esta obra emplea tecnología avanzada mediante elementos prefabricados y equipo especializado de montaje, que tiene como propósito dar solución vial a la población, garantizando la conectividad entre Cartagena y Barranquilla.

Fotografía 12: Viaducto sobre ciénaga de la virgen en Cartagena



Fuente: <http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/02-2017-a-toda-marcha-se-levanta-viaducto-de-cienaga-de-la-virgen>

Esta majestuosa construcción se considera el viaducto más largo de Colombia hasta el momento, que cuenta con una longitud de 4.73 kilómetros, compuesto por 129

apoyos intermedios separados entre ellos por una longitud promedio de 37 metros, cada uno de los apoyos contiene seis pilotes y tres dados cabezales sobre los que descansan, que tendrá nueve metros sobre el nivel del mar (*).

El proceso constructivo que “utilizan durante esta construcción según el director Rene Mayans del consorcio SAS, es primero prefabricar los elementos fundamentales que son pilotes, vigas y cabezales al lado de obra, para luego proceder a la instalación de ellos en su posición con ayuda de sistema lanzado. Por lo general al día se prefabrica para el viaducto, tres pilotes, dos vigas, y un dado, es decir, de cinco a seis elementos en un día”³².

Por su parte, el avance de la totalidad de la obra del proyecto lleva el 40% de la construcción y se espera que la finalización esté para el 2018.

5.2.1.2 Nuevo Puente Pumarejo: La construcción de este viaducto nació en la necesidad de reemplazar el proyecto Laureano Gómez que se construyó en 1970, debido al mal estado y a la insuficiente capacidad de tráfico que se encuentra. Es por esta razón que esta mega estructura garantizará la conectividad entre Barranquilla y el corregimiento de Magdalena; considerándose hasta el momento uno de los proyectos importantes para Colombia; ya que será el puente más ancho del país y uno de los más amplios de América Latina, contando con dos calzadas cada una de tres carriles.

De acuerdo con el diseño, el nuevo puente Pumarejo tendrá 2.2 kilómetros de longitud y 45 metros de altura, que será lo suficiente para que el flujo de las embarcaciones siga en funcionamiento sin alterar el desarrollo de la región. El método constructivo que emplean para este proyecto es por lanzamiento, que

* La información fue basada según a la agencia nacional de infraestructura (ANI).

³² ROMERO, Juliana. Comenzó la instalación del viaducto del gran Manglar. Cartagena. 2016

permitirá desplazar de forma longitudinal y transversal, por secciones, la fundida de la viga en concreto.

Fotografía 13: Nuevo puente Pumarejo



Fuente: <https://www.elheraldo.co/noticias/el-nuevo-puente-pumarejo-la-megaobra-del-caribe-227372>

Por otra parte, se espera que la finalización del proyecto sea para el principio del 2018.

5.3 APUESTA A LA CONSTRUCCIÓN SEGMENTADA

Colombia presenta avances en la modernización de las vías en donde se implementan superestructuras para tener acceso a los terrenos aislados e incomunicados, en los cuales la apuesta para la construcción de puentes es amplia teniendo 37 estructuras para ejecución y como proyección 951³³ en los próximos años, en los que la efectividad y tiempo empezarán a ser bases primordiales para determinar la elección y adjudicación, aparte que el territorio colombiano por la

³³ EL TIEMPO. Mega puentes que revelan el alto nivel de la ingeniería colombiana. Junio 12 del 2017 Revista EL TIEMPO.

presencia del relieve que lo compone, se hacen más importantes innovar para llegar a ejecutar en lugares sensibles, con calidad y seguridad que respalden una movilidad vehicular y ambiental.

Estos sistemas de construcción que existen en el mundo proporcionan más confianza en la construcción, aunque para el estado colombiano por el volumen necesario que presenta de construir, fomenta la utilización de métodos simples y rutinarios como base de elección, en donde el presupuesto es el que mantiene la tendencia constructiva con proyectos tipos para la ejecución por todo el país, en donde la incorporación de estos sistemas se hace más complicado por el temor y el desconocimiento práctico y financiero que presenta.

Actualmente se está implementando nuevos sistemas como medida de innovación que impondrán una generación más avanzada y detallada para la construcción de puentes de grandes dimensiones en las vías principales, en lo que se puede percibir que esta implementación en las vías secundarias y terciarias serían de gran valor por la cantidad que se necesita construir, haciendo alusión que Colombia puede y necesita una renovación o actualización para los proyectos que están en planeación, ya que la tecnología está evolucionando cada día más, fomentando calidad, seguridad y confort en menos tiempo con mejores resultados económicos a largo plazo.

La construcción de puentes en sección I evoluciona en su metodología y geometría, en donde se pueden apreciar las características en la base de datos de puentes continuos y segmentados a nivel nacional e internacional en los ANEXOS B Y C.

6 CONCLUSIONES

Las técnicas que se manejan a nivel internacional están diseñadas para ser utilizadas según las características propias de la región, clima y orografía; en donde los estudios que han realizado cada país han llevado a optar por tener mayor resultado en tiempo, estética y versatilidad para la construcción, por tal razón los pórticos lanzables han tomado importancia para el mejoramiento de esta, ya que permite montar las vigas segmentadas en menores tiempos con seguridad y calidad estructural.

Por otra parte la diversidad de climas que presenta nuestro país, da la viabilidad de utilización de la prefabricación que puede ser in situ e industrializada, donde cada una de ellas aporta los beneficios y comodidades en la implementación, además se puede hacer claridad que los segmentos que son realizados en fábrica tienen características similares en todos ellos, ya que el entorno en el que se es fabricado es un ambiente controlado a diferencia de cuando son hechos en sitio, lo que genera mayor control estructural de la superestructura.

Se puede evidenciar que los métodos constructivos están evolucionando al ritmo cómo avanza la civilización, en el que se ven más comprometidos para ser utilizados en los ambientes más extremos como sensibles como los que presenta nuestro país, en los que el vano a vano es uno de los que cumple con esta función a cabalidad, ya que su utilización es sencilla y de bajo costo, permitiendo manejar tiempos acorde en montaje de las vigas segmentadas y teniendo control de ejecución sobre ellas, además que permite trabajar distancias en puentes de luces medias con facilidad y estética.

Los puentes a nivel internacional han mostrado gran variedad de utilización de métodos y técnicas, como del manejo de la sección transversal “I” en las

superestructuras que tienen consideraciones ambientales y económicas en el que se ve reflejado su importancia para el gobierno, en tanto para Colombia el uso de las vigas “I” se han efectuado desde tiempo atrás en el que se evidencian múltiples proyectos construidos de esta manera, manteniendo una tendencia propia por el presupuesto y desactualización en los modernos métodos constructivos.

El uso de elementos y sistemas de puentes prefabricados dan la ventaja de aceleración del proceso constructivo del puente, ya que esta tipología permite el ahorro de tiempo de fabricación de las vigas, montajes, costos, seguridad estructural; debido a que se mueven algunas actividades importantes que consumen tiempo fuera de la construcción generando menos interrupciones viales y mayor seguridad para la ciudad o región, aunque esta demandará un mayor presupuesto inicial, pero es controlado y fijo para todo el proyecto en tiempo estipulado lo que lo hace ideal para ser aplicado en Colombia.

Las vigas segmentadas industrializadas, permiten iniciar su fabricación antes o al mismo tiempo que se inicia la construcción, ya que no interfieren directamente en la obra cumpliendo su curado y resistencia en tiempo determinados y justos para su implementación, como también son fácilmente transportadas por las carreteras del país sin presentar inconvenientes por su longitud, lo cual en Colombia por tener vías angostas lo hace viable para la movilización de las vigas prefabricadas.

Los puentes segmentados prefabricados son una buena alternativa práctica, económica, y competitiva para Colombia, gracias a que son adaptables en cualquier condición donde se sitúa la superestructura, puesto que este método reduce el impacto ambiental de la construcción a diferencia de la convencional in-situ, lo que lo hace viable para ser ejecutado en nuestro territorio.

Para concluir, Colombia tiene en espera más de 900 proyectos para conectar vías y regiones apartadas, en donde esta implementación de método y técnicas

mejoraría el tiempo de construcción manejando presupuestos determinados y acordes económicamente para el país, dándole una cara nueva de modernidad en ejecución de superestructuras.

7 RECOMENDACIONES

Uno de los inconvenientes que se puede presentar con el uso de vigas I prefabricadas, es que Colombia no cuenta con personal capacitado y experimentado, ni tampoco existe equipos especiales para la manipulación de las juntas entre segmentos, ya que es una de las problemáticas más frecuentemente a la hora de realizar esta metodología según el conocimiento de los expertos internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

1st International Symposium on Bridges and Large Structures. (COMBAULT, Jacques). Precast Concrete Segments for Bridges, fabrication and assembly – Fundamental details. Pág. 1-20

II Simposio Iberico-Americano “Concreto Estructural” (Septiembre 2006). Métodos y sistemas constructivos de puentes de hormigón de reciente utilización en la república argentina, 2006. Pág. 1-17. (ISBN 85-98576-09-3)

ABDEL-KARIM, Ahmad; BARNARD, Thomas; BROWN, Orin. Precast enables total environmental avoidance. EN: ASPIRE. Winter 2008. Pág 42-45

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. Base de datos. 2017

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge design specifications. Washington, DC 20001. 2012. Pág. 1-1661 (ISBN. 978-1-56051-523-4)

AMERICAN SEGMENTAL BRIDGE INSTITUTE. Construction practices handbook for concrete segmental and cable-supported bridge. Junio 2008

ANDRES, Thomas A. et al. Connecting interstate 4 and the selmon expressway. EN: ASPIRE. Fall 2013. Pág. 14-16

ARMTEC. Bridge girders technical guide. EN: ARMTEC. 2013. Pág. 1-24

BAIRD, Andrew. I-10/SR 303L System Traffic Interchange. EN: ASPIRE. Winter 2016. Pág 22-24

BARAJAS C, Fausto. Venciendo el reto de la sierra madre. EN: Secretaria de Comunicación y Transporte. Mexico D.F. Pág. 1-126

BARDOW, Alexander K.; SERADERIAN, Rita L. y CULMO, Michael P. Design, fabrication and construction of the new england bulb-tee girder. EN: PCI JOURNAL. Noviembre - Diciembre 1997. Pág. 30-40

BARKER, James M. Construction Techniques for Segmental Concrete Bridges. En: PCI JOURNAL Julio – Agosto 1980. Pág 66-86

BAKER Jr, Michael; LAWSON, David. Public / orivate partnership succeeds. EN: ASPIRE. Spring 2009. Pág 38-40

BEACHAM, Mike y DERRICK, Deborah, Longer bridge spans with nebraska's NU I-Girders. EN: TRNews. Mayo-junio 1999. Pág. 1-3

BOWMAKER, Geoff, Design of Bridges for the Westlink M7 Motorway. Australia. Pág. 1-13

BRICE, Richard; SEGUIRANT, Stephen J. y KHALEGHI, Bijan. Evaluation of common design policies for precast, prestressed concrete I-girder bridges. EN: PCI JOURNAL. Fall 2013. Pág. 68-80

BROWN, Daniel. Deep spliced girders save tollway \$8 millon. EN: ASPIRE. Spring 2008. Pág. 28-32

BROWN, Geoff, KHAN, Jamil y HOBMAN, Jason. New standard bridge beams for new zealand. EN: New Zealand, brown. Pág. 1-12

BROWN, Geoff, et al. New standard bridge beams for New Zealand. Wellington, EN: New Zealand. 2003

CANJURA, Nelson E. et al. Belleair beach causeway bridge replacement project. EN: ASPIRE. Summer 2010. Pág. 16-19

CARLTON, Kelly y LEQUESNE, Remy. Charts for preliminary selection of NU girder sections based on kansas department of transportation LRFD design guidelines for prestressed concrete beams. University of Kansas Center for Research. Report. Mayo 2016

CATBAS, Necati; DARWASH, Haider y FADUL, Manar. Modeling & load rating of two bridges designed with AASHTO and Florida I-beam girders. EN: TRID. 2013. Pág. 1-13

CHAPAMAN, David Chapman; SCHULTS, Eric; KHALEGHI, bijan. State Route 162/6 Puyallup River Bridge. EN: ASPIRE, Summer 2016. Pág 18-20

CHEN, Wai-Fah; DUAN, Lian, Segmental concrete bridge.. CRC Editorial Press Tailor y Francis group. New York, Washington D.C. 2000 Pág. 1-435 (ISBN: 0-8493-7434-0)

CHEN, Wai-Fah; DUAN, Lian, Superstructure design. Second edition. CRC Editorial Press Tailor y Francis group. London, New York 2014 Pág. 1-435 (ISBN: 13:978-1-4398-5229-3)

CONSTRUDATA. Informe especial de puentes. En: LEGIS S.A. Junio-agosto 2011. Edición 159. Pág. 20-59

D'ANDREA, Artur W. Louisiana Department of Transportation and Development. Replacement of the I-10 twin span bridge over lake pontchartrain. EN: ASPIRE. Spring 2011. Pág. 30-32

DOUGHTY, Jason R. Lamberts / Brambleton viaduct norfolk light rail transit project. EN: ASPIRE. Summer 2009. Pág 30-32

EL NUEVO SIGLO. A toda marcha se levanta viaducto de Ciénaga de la Virgen. [En línea]. Febrero 09 del 2017 Revista EL NUEVO SIGLO. (Recuperado el 20 de septiembre de 2017). Disponible en: <http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/02-2017-a-toda-marcha-se-levanta-viaducto-de-cienaga-de-la-virgen>

EL TIEMPO. Megapuentes que revelan el alto nivel de la ingeniería colombiana. [En línea]. Junio 12 del 2017 Revista EL TIEMPO. (Recuperado el 20 de septiembre de 2017). Disponible en: <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/puentes-mas-complejos-construidos-en-colombia-o-en-proyecto-97848>

ENDICOTT, Wayne A. A whole new cast. EN: ASPIRE. Summer 2007. Pág 26-29
ERDOGAN, Julien E. DUBAI LRT VIADUCTS Precast segmented span by span erection method. Freysaş-Freyssinet. Turkiye. Pág. 1-10

FDOT. Index 20010 series prestressed Florida I-beams. [En línea]. Departamento de transporte de Florida. 2012. (Recuperado el 15 de septiembre de 2017). Disponible en: <http://www.fdot.gov/roadway/DS/12/IDS/IDS-20010.pdf>

FERNANDES, Robert L.; FRENCH, Ross A.; LIU, Ping. Creating a level playing field a bridge and a park built over busy freeway. EN: ASPIRE. Fall 2011. Pág. 18-20

FIGG, Eugene C. Proposed AASHTO Standards for Segmental Bridges Represent a Growing Market for the Precast Concrete Industry. En: PCI JOURNAL. Septiembre-octubre 1997. Pág. 30-31

FIGG, Linda. Precast Concrete Segmental Bridges America's Beautiful and Affordable Icons. En: PCI JOURNAL Septiembre- octubre 2004. Pág. 26-39

FISHER, Tom. et al. Mullica river bridge widening of the garden state parkway. EN: ASPIRE. Fall 2012. Pág. 22-24

FUJIWARA, David. Kealakaha stream bridge replacement. EN: ASPIRE. Summer 2010. Pág. 22-24

GAINES, Mark A.; IRWIN, Joseph M. One of eleven, but one of a kind. EN: ASPIRE. Summer 2008. Pág. 16-20

GUENTHER, Paul. Ben C. Gerwick Inc. GUAN, Hong. The benson road bridge over I-405. Extending precast concrete spans with washington "stake's girders". EN: ASPIRE. Spring 2012. Pág. 24-26

GUERRA HERNANDEZ, Elizabeth. Prefabricados de concreto en la industria de la construcción. Trabajo de grado (Ingeniero Constructor). Instituto tecnológico de la construcción. Mexico D.F 2004.

HAINES, Steve; Parson Corporation. Pionner crossing. EN: ASPIRE. Winter 2011. Pág. 16-18

HAMILTON, H.R. End region detailing of pretensioned concrete bridge girders. Univerity of florida. Report final. March 2013

HANNA, Kromel; MORCOUS, George y TADROS, Maher. Design aids of NU I-Girder bridges. University of Nebraska. Reports. July 2010. Pág. 1-438

HIGAREDA, Jose Higareda; California Department of Transportation. ANGELES CREST BRIDGE 1. EN: ASPIRE. Spring 2010. Pág 20-22

HUADA. Full Span Launching Gantry. En: Bridge erection y road maintenance. Pág 1-9

HUADA. Segmental Launchig Gantry. En: Bridge erection y road maintenance. Pág 1-12

HUADA. Movable Scaffolding System. En: Bridge erection y road maintenance. Pág 1-9

HUFF, Tim. Spanning the Wolf River Wetlands in Tennessee. EN: ASPIRE. Fall 2014. Pág 14-16

HYZAK, Michael D. et al. Design and construction of the I-10 trinity river bridge. EN: ASPIRE. Spring 2011. Pág. 22-24

J.S. Du a, F.T.K. Au. Deterministic and reliability analysis of prestressed concrete bridge girders: comparis on of the Chinese, Hong Kong and AASHTO LRFD Codes. En: Structural Safety 27 2005. no 27. Pág. 230–245.

JUNTUNEN, David. Improving bridges with prefabricated precast concrete systems. Western Michigan University. Report final. 2013

KRISTENSEN, Jhon E. Precast Segmental Bridge Construction Part 2 -Span by Span Erection Method. En: SUMCAM. 2015. Pág. 1-30

KRONSTAIN, Gregory. et al. Ohio fulton road bridge replacement. EN: ASPIRE. Spring 2009. Pág. 34-37

LANDUYT, Dean V; Texas Department of Transportation. The gulf intracoastal waterway bridge at matagorda, TEXAS. EN: ASPIRE. Winter 2010. Pág 20-22

LAVALLEE, Roland. New england bulb tee reduces bridge costs. EN: ASCENT. Fall 2001. Pág. 33

LAVIOLETTE, Mike, et al. Bridge construction practices using incremental launching. Reporte diciembre 2007

LOPEZ MORANTES, Elkin Mauricio; VANEGAS HERRERA, Sergio Andres. Sistemas constructivos en puentes con pretensado extradadoso, estado del arte. Trabajo de grado para optar al Título de ingeniero civil. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánicas, Escuela de ingeniería civil. Bucaramanga 2009

MEHLE, Jeff; Jacobs Engineering Group Inc. A grand connectivity improvement in the grand valley the 29 road bridge and I-70 B ramp. EN: ASPIRE. Spring 2012. Pág 32-34

MERWIN, Donald P. Record length precast beam ensures project meets deadline. EN: ASPIRE. Winter 2007. Pág 36-37

MIZUMORI, Anthony y BRICE, Rick. Lateral stability of girders. EN: WSDOT. Agosto 2017. Pág. 1-40

MONDORF, Paul E. Design-Construction of Precast Segmental Elevated Metro Line for Monterrey, Nuevo Le6n, Mexico. En: PCI JOURNAL. Marzo-Abril 1993. Pág. 42-56

MORETON, Alan J. Segmental Bridge Construction in Florida- A Review and Perspective. En: PCI JOURNAL , Mayo – June 1989. Pág. 36-77

NELSON, Eric T.; AECOM. Indian river inlet bridge surviving the storms. EN: ASPIRE. Winter 2012. Pág. 12-16

NIGATU, Chaffo. Design of Pier Segments in Segmental Hollow Box Girder Bridges. En: Cuvillier Verlag Gottingen. Pág .1-7

NOWAK, Andrzej S.; PARK, Chan-hee; CASAS, Juan R. Reliability analysis of prestressed concrete bridge girders: comparison of Eurocode, Spanish Norma IAP and AASHTO LRFD. En: Structural Safety. 2001. no. 23. Pág. 331–344

NWSDOT. Prestressed concrete AASHTO I-beam & PCEF typical sections. [En linea]. Departamento de transporte del estado de New York. 2008. (Recuperado el 16 de septiembre de 2017). Disponible en: <https://www.dot.ny.gov/main/business-center/engineering/cadd-info/bridge-details-sheets-repository-usc/BD-PS1E.pdf>

PIACENTI, Corin; Parsons Corporation. The I-15 beck street bridge a tectonic shift in bridge desing. EN: ASPIRE. Spring 2012. Pág 36-38

PODOLNY, Walter. An Overview Of Precast Prestressed Segmental Bridges. En: PCI JOURNAL. Enero – Febrero 1979. Pág. 56-87

PRADHAN, Rohit; DRECHSLER, Steven J.; Purcell Associates. Mayor mike peters bridge a pedestrian link to hartford's waterfront. EN: ASPIRE. Winter 2012. Pág. 18-20

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. Bridge design manual. Tercera edición. Noviembre 2011

REINOSO A, Eduardo; RODRÍGUEZ, Mario E. y BETANCOURT R, Rafael. Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas. Instituto de ingeniería UNAM. 2000

ROBERTSON, Robert. Implementation plan for the adoption of Florida I-beams as new standard prestressed concrete beams. Florida Department of Transportation. January 2009. Pág. 1-15

RODDENBERRY, Michelle. Prefabricated/Precast bridge elements and systems (PBES) for off-systems bridges. Report final. Florida. 2012.

ROMERO, Juliana. Comenzó la instalación del viaducto del gran Manglar. Cartagena. [Base de datos en línea]. Junio 28 de 2016. Revista El Universal. (Recuperado el 24 septiembre 2017). Disponible en <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/comenzo-instalacion-del-viaducto-del-gran-manglar-229099>

ROSIGNOLI, Marco. Self-launching erection machines for precast concrete bridges. En: PCI JOURNAL. Winter 2010. Pág. 36-57

RUDIE, Charles; POULSON, Jhon; RYZHIKOV, Victor, MOLAS Theodore. Innovative solutions for rapid construction. EN: ASPIRE. Summer 2008. Pág 22-24

SALLEH, Jazlan B.; SALLAH, Mohamed. Construction of precast segmental box girder bridge using overhead gantry – A case study. Tesis maste of science (construction management). Malaysia. Univesiti Teknologi Malaysia, Faculty of Civil Engineering. 2006

SÁNCHEZ DEL CASTILLO, Huguier Lee. Vigas y viguetas prefabricados. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. 2013

SARVIS, Samuel; Indiana Department of Transportation. I-69 Twin bridges over the patoka river many challenges overcome for longest bridge on longest new section of interstate. EN: ASPIRE. Spring 2013. Pág. 14-16

SEARCY, Adam. Et al. West mesquite interchange AT I-15 NDOT's first bridge slide using accelerated bridge construction. EN: ASPIRE. Summer 2012. Pág. 28-30

SEGUIRANT, Stephen J. New deep WSDOT standard sections extend spans of prestressed concrete girders. EN: PCI JOURNAL. Julio - agosto 1998. Pág. 92-119

SHNEIDERMAN, Jim. Ernest F. Lyons bridge. EN: ASPIRE. Winter 2008. Pág 36-39

SHUTT, Craig. Economical bridge widening. EN: ASPIRE. Summer 2008. Pág 30-32

SHUTT, Craig. UHPC joint provides new solution. EN: ASPIRE. Fall 2009. Pág. 28-30

SINSON, Henri; Hardesty & Hanover LLC. Chincoteague island bridge replacement. EN: ASPIRE. Summer 2012. Pág. 20-22

SLAGLE, Brian; GOULD, Michael; Janssen & Spaans Engineering Inc; James McHugh Construction Co. Arch of triumph. EN: ASPIRE. Summer 2009. Pág. 34-36"

SLAGLE, Brian; Janssen & Spaans Engineering Inc. Going to record lengths. EN: ASPIRE. Winter 2011. Pág. 24-27

SUBDIRECCIÓN TERRITORIAL Y DE INVERSIONES PÚBLICAS. Construcción de puentes vehiculares en vías secundarias ó terciarias. [En línea]. Departamento nacional de planeación. 2017. (Recuperado el 24 de septiembre de 2017) Disponible en: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/puentes/PTpuentes.pdf>

STELMACK, Thomas W. et al. Dart trinity river bridge a design-build, precast concrete, spliced-girder bridge solution. EN: ASPIRE, Fall 2012. Pág 14-16

STEVENS, Todd R; Minnesota Department of Transportation. Zumbrota veterans memorial bridge. EN: ASPIRE. Spring 2012. Pág. 16-18

STRUKTURAS. Sistemas lanzables – Autoportantes. En: Strukturas. Agosto 2014. Pág 1-41

SWARD, Bod. Segmental Bridge Construction Techniques. En: PTI Convention. Nashville, TN. 7 May 2012. Pág. 1-24

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Post-tensioning tendon installation and grouting manual. Mayo 2013 (FHWA-NHI-13-026)

VADIVELU, Jayaprakash. Impact of larger diameter strands on AASHTO / PCI bulb-tees. Trabajo de grado. University of Tennessee. 2009

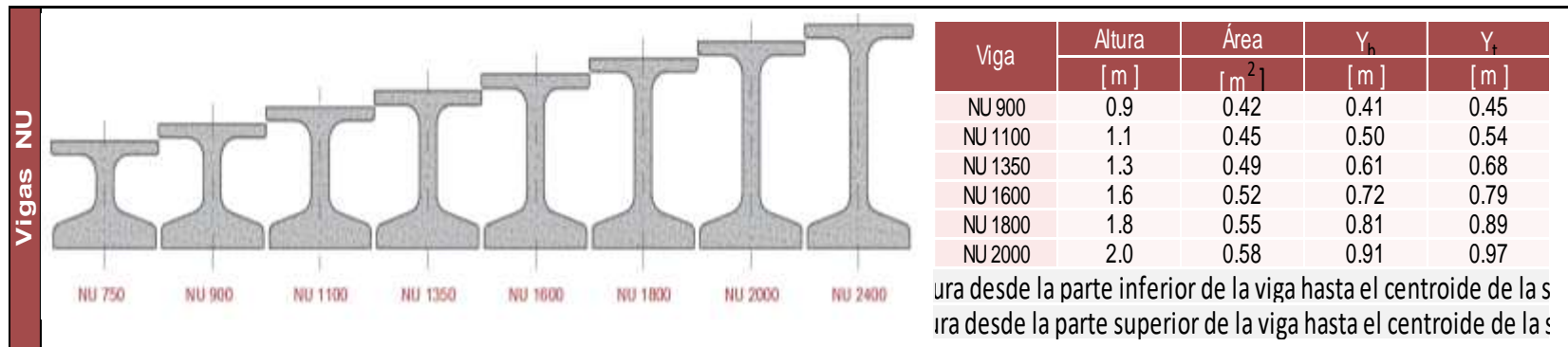
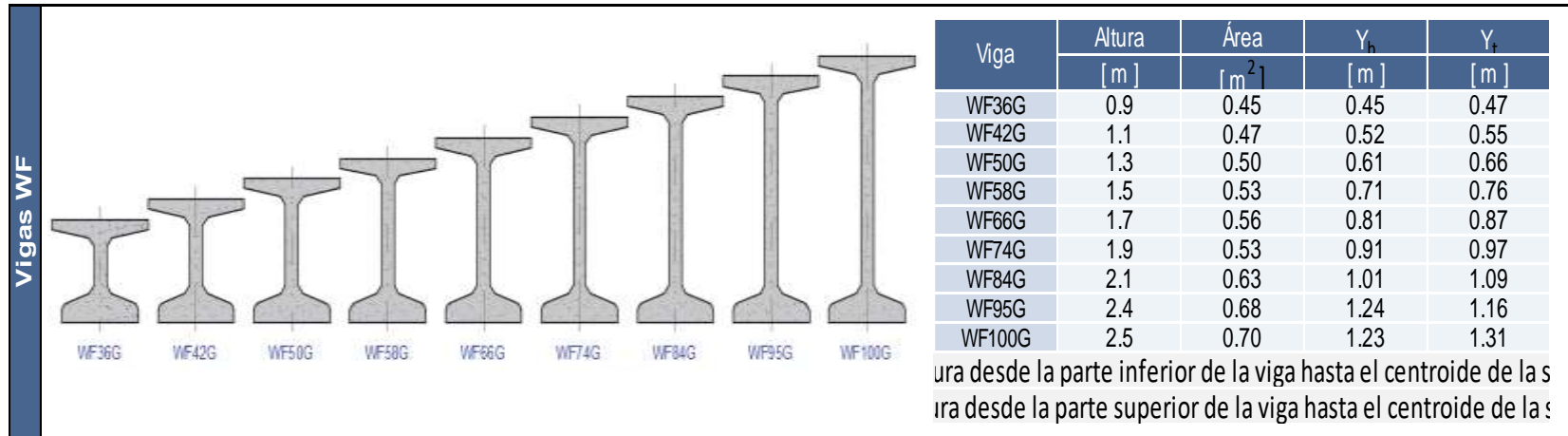
VSL International Ltd. Bridge Construction Partner. En: VSL France (Diciembre de 2013). Pág 1-36

WEAVER, Craig; Kleinfelder. Re-creating history: Modern techniques preserve character of historic bridge. EN: ASPIRE. Fall 2011. Pág. 34-36

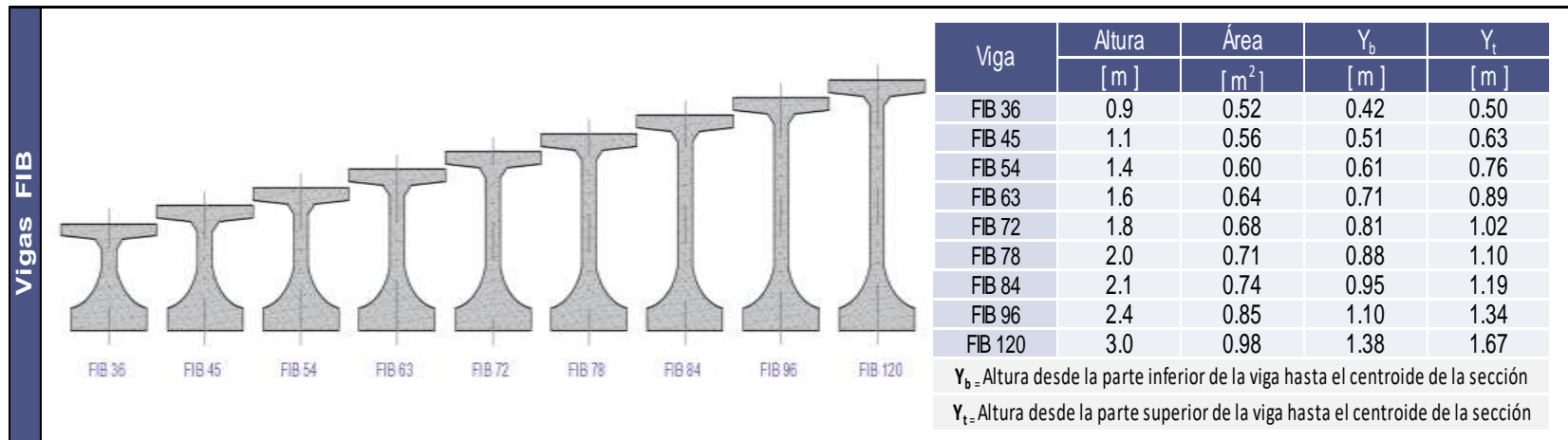
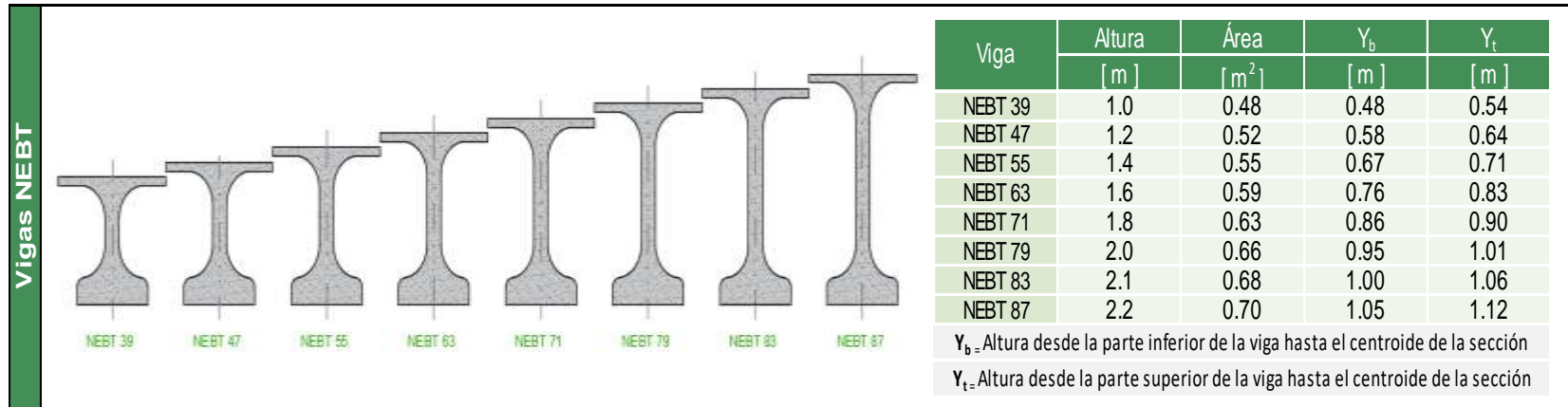
WOODS, Stanley W. Hurricane-Damaged span replaced in 156 days. EN: ASPIRE. Spring 2007. Pág 30-32

YERMACK, Erick; Arona and Associates P.C. September 11 memorial bridge. EN: ASPIRE. Fall 2009. Pág. 24-26

ANEXO A: Propiedades de las vigas existentes en E.U.U



ANEXO A (Continuación): Propiedades de las vigas existentes en E.U.U



ANEXO B: Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
Arroyo camarada	México	Autopista Durango Mazatlán	097+644	N/A	20	AASHTO	DGC SCT
Alaskan way viaduct	Estados Unidos	Ruta estatal 99	N/A	N/A	62	WF100G	WSDOT
Angeles crest 1	Estados Unidos	N/A	Condado de los ángeles	1 v 63	63	Bulb tee	Caltrans
Arroyo del agua	México	Autopista Durango Mazatlán	104+153	N/A	15	AASHTO	DGC SCT
Arroyo el frijol	México	Autopista Durango Mazatlán	013+250	N/A	50	AASHTO	DGC SCT
Arroyo las cuevas	México	Autopista Durango Mazatlán	020+956	N/A	40	AASHTO	DGC SCT
Arroyo los ojitos	México	Autopista Durango Mazatlán	045+840	N/A	140	AASHTO	DGC SCT
Arroyo san juan	México	Autopista Durango Mazatlán	007+896	N/A	15	AASHTO	DGC SCT
Balabar	México	Autopista Durango Mazatlán	199+165	2 v 30.32 y 1 v 30.64	91.28	AASHTO IV @ 1.80 H=1.35	DGC SCT
Baluarte II	México	Autopista Durango Mazatlán	158+340	2 v 31.5 y 5 v 50	335	NU @ 3.20 H=2.40	DGC SCT
Bay St. Louis Rail	Estados Unidos	Bay st louis	N/A	160 v 19 y 2 v 15	3063.2	AASHTO IV	CSX ferrocarril de transporte
Belleair beach causeway	Estados Unidos	N/A	condado Pinellas	N/A	1021	Bulb tee	FDOT
Benson road	Estados Unidos	Interestatal 405	N/A	1 v 40, 1 v 64 y 1 v 55	159	WF100G	WSDOT
Chicle	México	Autopista Durango Mazatlán	054+100	N/A	100	AASHTO	DGC SCT

N/A: Información no disponible

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
Chicoteague	Estados Unidos	Routa 175	N/A	N/A	1230	Bulb tee	VDOT
Chiri,oyo	México	Autopista Durango Mazatlán	173+875	2 v 29 y 3v 38	172	NU @ 2.66 H=1.80	DGC SCT
Cotton lane	Estados Unidos	N/A	N/A	17 v 37	630	AASHTO VI modificado	MCDOT
Coyotes	México	Autopista Durango Mazatlán	085+984	N/A	160	AASHTO	DGC SCT
Cranston RI	Estados Unidos	N/A	N/A	3 v	N/A	NEBT 2100	N/A
Daggett road	Estados Unidos	California State Highway 4	condado de san joaquin	3 v 31	93	Bulb tee	N/A
Dart trinity river	Estados Unidos	N/A	Dallas	N/A	168	N/A	N/A
Des plaines river valley	Estados Unidos	Interestatal 385	N/A	35 v	2092	Bulb tee	IDOT
El caldero	México	Autopista Durango Mazatlán	226+944	N/A	20	AASHTO	DGC SCT
El cantil	México	Autopista Durango Mazatlán	142+436	2 v 30 y 1 v 40	100	NU @ 2.70 H=2.00	DGC SCT
El cantil	México	Autopista Durango Mazatlán	187+720	2 v 42	84	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
El carrizo II	México	Autopista Durango Mazatlán	163+370	2 v 37.5 y 1 v 50	125	NU @ 3.00 H=2.20	DGC SCT
El indio	México	Autopista Durango Mazatlán	119+740	2 v 30 y 6 v 40	300	NU @ 2.70 H=2.00	DGC SCT
El magueyal	México	Autopista Durango Mazatlán	137+720	2 v 31.5 y 1 v 42	105	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
N/A: Información no disponible							

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
El nacaral	México	Autopista Durango Mazatlán	172+785	2 v 37.5 y 6 v 50	325	NU @ 2.60 H=2.20	DGC SCT
Ernest f. lyons	Estados Unidos	N/A	N/A	10 V 15	150	AASHTO II	FDOT
Escambia bay	Estados Unidos	Interestatal 10	N/A	102 v bulb tee, 71 v AASHTO II y 6 v AASHTO I	4828	AASHTO I, AASHTO II, Bulb tee	FDOT
Fox river	Estados Unidos	Interestatal 88	N/A	10 v 41	410	N/A	IDOT
Fulton road	Estados Unidos	N/A	Condado Cuyahoga	34 v 14	482	AASHTO III	Departamento de transporte de Ohio
Garden grove boulevard widening	Estados Unidos	N/A	N/A	24 v 1.5 bulb tee, 8 v 1.5 rectangular y 250 v viga cajón	104	Bulb tee, Rectangular, viga cajón	Caltrans
Grande	México	Autopista Durango Mazatlán	211+850	N/A	70	AASHTO	DGC SCT
Guamúchil I	México	Autopista Durango Mazatlán	162+520	2 v 28.5 y 4 v 38	209	NU @ 3.00 H=1.80	DGC SCT
Gulf intracoastal waterway	Estados Unidos	N/A	N/A	19 v 43 y 46 viga cajón	1033	AASHTO VI viga cajón	TxDOT
Husky	Estados Unidos	N/A	N/A	1 v 42.25	42.25	NEBT 1800	N/A
I-10 Twin span	Estados Unidos	Interestatal 10	N/A	N/A	8850	AASHTO III, Florida, Bulb tee	DOTD

N/A: Información no disponible

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
I-15 Beck street	Estados Unidos	Interestatal 15	N/A	1 v 35, 1 v 56, 1 v 59 y 1 v 29	180	Bulb tee	UDOT
I-4 Selmon espressway connector	Estados Unidos	Interestatal 4	N/A	N/A	N/A	AASHTO IV, Bulb tee, Viga cajón, Viga U	FDOT
I-45 galveston bay causeway	Estados Unidos	Interestatal 45	Condado de Galveston	N/A	2620	AASHTO VI	TxDOT
I-69 twin	Estados Unidos	Interestatal 69	Condado de Pike-gibson	244 v 5.5	1342	Bulb tee	INDOT
Indian river inlet	Estados Unidos	Ruta estatal 1	N/A	N/A	792	Bulb tee	DeIDOT
Kealakaha stream	Estados Unidos	N/A	N/A	3 v 30.5	91.5	Bulb tee	N/A
La calavera	México	Autopista Durango Mazatlán	155+640	2 v 31.5 y 1 v 42	105	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
La capilla	México	Autopista Durango Mazatlán	182+160	2 v 37.5 y 2 v 50	175	NU @ 2.60 H=2.20	DGC SCT
La cascada	México	Autopista Durango Mazatlán	168+200	2 v 37.5 y 5 v 50	325	NU @ 2.90 H=2.40	DGC SCT
La cueva	México	Autopista Durango Mazatlán	155+185	2 v 31.5 y 1 v 42	105	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
La jabalina	México	Autopista Durango Mazatlán	184+940	2 v 37.5 y 3 v 50	225	NU @ 2.60 H=2.20	DGC SCT
La noria	México	Autopista Durango Mazatlán	118+840	2 v 30 y 2 v 40	140	NU @ 2.70 H=2.00	DGC SCT
Lagunas	México	Autopista Durango Mazatlán	166+500	4 v 30.5	122	AASHTO	DGC SCT
N/A: Información no disponible							

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
Las arenas	México	Autopista Durango Mazatlán	204+865	N/A	122	AASHTO	DGC SCT
Las arenas I	México	Autopista Durango Mazatlán	206+520	N/A	910	AASHTO	DGC SCT
Las arenas II	México	Autopista Durango Mazatlán	206+870	N/A	122	AASHTO	DGC SCT
Las paolmas	México	Autopista Durango Mazatlán	184+360	2 v 37.5 y 1 v 50	125	NU @ 2.60 H=2.20	DGC SCT
Leoneras	México	Autopista Durango Mazatlán	127+710	2 v 31.5 y 2 v 42	147	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
Los morillos	México	Autopista Durango Mazatlán	161+845	2 v 37.5 y 2 v 50	175	NU @ 3.00 H=2.20	DGC SCT
Mars hill	Estados Unidos	Avenida 100th	Condado de Iowa	1 v 34.4	34.4	Bulb tee	IADOT
Mayor mike peters	Estados Unidos	Interestatal 91	N/A	1 v 22, 1 v 29 y 1 v 31	82	Bulb tee	ConnDOT
Mesillas	México	Autopista Durango Mazatlán	213+360	N/A	30	AASHTO	DGC SCT
Mullica river	Estados Unidos	N/A	Condado de Burlington	4 v 67 y 2 v 53	374	AASHTO VI modificado	N/A
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	000+420	N/A	30	AASHTO	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	014+114	N/A	24	AASHTO	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	151+100	2 v 40.5	81	NU @ 2.70 H=2.00	DGC SCT

N/A: Información no disponible

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	151+240	2 v 40.5	81	NU @ 2.70 H=2.00	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	158+900	1 v 42, 1 v 42.65 y 1 v 41.95	126.6	NU @ 3.20 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	161+600	2 v 37.55 y 2 v 38.25	151.6	NU @ 3.10 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	162+380	2 v 37.5 y 2 v 50	175	NU @ 3.00 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	180+090	2 v 42	84	NU @ 2.70 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	181+080	3 v 42	126	NU @ 2.70 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	181+455	2 v 37.5 y 1 v 50	125	NU @ 2.70 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	181+790	2 v 42	84	NU @ 2.70 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	185+650	2 v 37.5 y 3 v 42	201	NU @ 2.70 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	186+658	2 v 50.72 y 1 v 51.37	152.81	NU @ 1.80 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	196+048	2 v 42 y 1 v 50	134	NU @ 2.70 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	201+774	2 v 40.65 y 1 v 51.3	132.6	NU @ 1.80 H=2.40	DGC SCT
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	209+619	N/A	80	AASHTO	DGC SCT

N/A: Información no disponible

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
N/A	México	Autopista Durango Mazatlán	203+886	1 v 10.34, 1 v 22.68, 1 v 10.34, 1 v 29.24, 3 v 30, 1 v 29.58 y 1 v 7.88	200.06	AASHTO III @ 1.58 H=1.15 Y AASHTO IV @ 1.80 H=1.35	DGC SCT
Northeast 36TH street	Estados Unidos	Ruta estatal 520	N/A	N/A	126	Bulb tee	WSDOT
Over the kentucky river	Estados Unidos	Ruta estatal 22	N/A	1 v 53, 1 v 99 y 2 v 61	274	Bulb tee	N/A
Pioneer crossing interchange	Estados Unidos	Interestatal 15	N/A	2 v 58	116	Bulb tee	UDOT
Platanito	México	Autopista Durango Mazatlán	151+835	2 v 31.5 y 3 v 42	189	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
Puente sobre e canandaigua outlet	Estados Unidos	Ruta estatal 31	Condado de Wayne	8 v 26.5	212	Bulb tee	NYSDOT
Puyallup river	Estados Unidos	Ruta estatal 167	N/A	N/A	62	WF100G	WSDOT
Reforma	México	Autopista Durango Mazatlán	180+730	2 v 37.5 y 1 v 50	125	NU @ 2.40 H=2.40	DGC SCT
Santa lucía	México	Autopista Durango Mazatlán	175+560	2 v 37.5 y 6 v 50	375	NU @ 2.60 H=2.20	DGC SCT
Santa lucía II	México	Autopista Durango Mazatlán	180+040	2 v 42	84	NU @ 2.65 H=2.00	DGC SCT
Sarival avenue	Estados Unidos	Ruta estatal 303	N/A	3 v 74.7	224.1	AASHTO V	ADOT
Saucedo	México	Autopista Durango Mazatlán	050+880	N/A	100	AASHTO	DGC SCT

N/A: Información no disponible

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
Saw mill river parway	Estados Unidos	N/A	N/A	1 v 42.30	42.3	NEBT 1800	N/A
September 11 memorial	Estados Unidos	Ruta estatal 70	N/A	N/A	220	Bulb tee	NJDOT
State route / Fletcher road	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	248 v 2.8	694.3	Bulb tee 72	TDOT
State route / Johnson's Creek	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	128 v 2.78	356.4	Bulb tee 63	TDOT
State route / Raleigh-Lagrange	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	102 v 3.21	327.7	Bulb tee 63	TDOT
State route / Wolf river	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	3384 v 2.88	9736	Bulb tee 54	TDOT
State route / Wolf river Tributary	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	256 v 1.39	356.6	Bulb tee 63	TDOT
State route 162/6 puyalluo river bridg	Estados Unidos	Ruta estatal 162	N/A	1 v 33.5 y 1 v 48.8	82.3	WF74G	WSDOT
State route 17 over Walll kill river	Estados Unidos	N/A	N/A	3 v 54	162	NEBT	N/A
State route 385 over / Monterey road	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	200 v 2.69	538.9	AASHTO IV	TDOT
State route 385 over / Wolf river lateral	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	256 v 2.74	700.4	AASTHO II	TDOT
State route 385 over / Wolf river O.F.	Estados Unidos	Ruta estatal 385	N/A	194 v 2.69	521.2	AASTHO II	TDOT
State route 68 over I-91	Estados Unidos	Ruta estatal 68	N/A	2 v 51	102	NEBT 1800	ConnDOT

N/A: Información no disponible

ANEXO B (continuación): Base de puentes internacionales

Puente	País	Carretera	Ubicación (Km)	Diseño de vanos (m)	Longitud total (m)	Tipo de viga	Concesión
State route 94 over state route 17 orange	Estados Unidos	N/A	N/A	2 v 25	50	NEBT	N/A
The 29 road and I-70 B ramp	Estados Unidos	Interestatal 70B	N/A	1 v 21, 1 v 31, 1 v 18, 1 v 41, 1 v 36, 1 v 48 y 1 v 42	237	Bulb tee	CDOT
The covered	Estados Unidos	N/A	N/A	4 v 41	164	Bulb tee	MaineDOT
Trinity river	Estados Unidos	Interestatal 10	N/A	2 v 83 y 1 v 137 segmentos 46.5	303	AASHTO IV	TxDOT
U.S. 97 over union pacific railroad	Estados Unidos	N/A	N/A	1 v 55.8	55.8	Bulb tee	ODOT
Verde	México	Autopista Durango Mazatlán	126+155	3 v 42	126	NU @ 2.60 H=2.00	DGC SCT
Viaduct Brambleton	Estados Unidos	N/A	N/A	43 v 15 a 26	918	Bulb tee	N/A
Viaducto chirimoyos	México	Autopista Durango Mazatlán	175+000	6 v 30	180	AASHTO V @ 1.80 H=1.35	DGC SCT
Wallkill Rd	Estados Unidos	N/A	N/A	2 v 54.8	109.6	NEBT 1800	N/A
West mesquite interchange at I-75	Estados Unidos	Interestatal 15	N/A	1 v 34	34	Bulb tee	NDOT
William a. Bugge	Estados Unidos	Ruta estatal 104	N/A	N/A	2490	WF42G	WSDOT
Zumbrota veterans memorial	Estados Unidos	N/A	N/A	2 v 25	50	Bulb tee	MDOT

N/A: Información no disponible

ANEXO C: Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Abejorral	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	47+834	I.N.V.	1	31.35	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Agua Azul (Derecha)	Risaralda	Pereira - Manizales	4+520	ANI	1	26.6	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Agua Azul (Izquierda)	Risaralda	Pereira - Manizales	4+520	ANI	1	26.56	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Cameguadua		Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	29+296	ANI	1	41.36	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Campoalegre		Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	25+473	ANI	1	40.77	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Caño Alegre 5 Norte	Tolima	Honda - Río Ermitaño	80+930	ANI	1	15.3	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Caño Alegre 5 Sur	Tolima	Honda - Río Ermitaño	80+930	ANI	1	15.1	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Caño Alegre 6 Norte	Tolima	Honda - Río Ermitaño	81+020	ANI	1	15.3	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Caño Alegre 6 Sur	Tolima	Honda - Río Ermitaño	81+020	ANI	1	15.2	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Caño El Lindero	Santander	Cruce Ruta 45 (La Fortuna) - Bucaramanga	23+0400	ANI	4	163	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Caño Pavas Norte	Tolima	Honda - Río Ermitaño	103+247	ANI	1	20.1	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, prefabricado & in situ	N/A
Caño Pavas Sur (Izquierda)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	103+270	ANI	3	20.9	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, prefabricado & in situ	N/A
Carmana	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	39+834	I.N.V.	2	45.73	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Chambimbal (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	73+0500	Concesión Departamental	1	20.16	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	Segmentada
Cocomá	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	18+180	I.N.V.	3	74.233	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Dolores I	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	20+710	I.N.V.	2	50.13	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Dolores II	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	20+910	I.N.V.	1	30.91	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Don Toto	Antioquia	La Pintada - Medellín	59+0670	I.N.V.	1	30.86	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Dosquebradas (Izquierda)	Risaralda	Pereira - Manizales	2+250	ANI	1	26.21	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
El Caminito -- verif PR --	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	49+436	I.N.V.	1	31.42	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
El Chispero		Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	29+736	ANI	1	40.17	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
El Jordán (Izquierda)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	72+930	I.N.V.	1	24.2	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
El Palo (Río Supía)	Caldas	Quebra de Vélez - La Estrella - La Felisa	55+0057	ANI	3	73.23	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
El Pescador	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	73+180	I.N.V.	1	30.96	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
El Pital	Quindío	La Paila - Armenia	9+0030	ANI	3	69.6	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
El Salero (Refugio) (Puente 9)	Tolima	Variante de Ibagué	4+680	ANI	1	25.5	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Ferrocarril (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	70+300	Concesión Departamental	1	18	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Filo de Hambre	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	64+933	I.N.V.	1	26.05	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Glorieta Boquerón	Tolima	Variante de Ibagué	0+295	ANI	1	18.2	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Guacaica	Caldas	Tres Puertas - La Estrella	3+0137	ANI	3	94.23	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	N/A
Intersección Mulalo (Derecha) (nuevo)	Valle	Cali - Viges - Mediacanoa	18+400	ANI	2	40.98	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Jaguero	Caldas	Quebra de Vélez - La Estrella - La Felisa	52+0507	ANI	1	37.17	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Juancherito (57+0876) (Izquierda)	Antioquia	La Pintada - Medellín	57+0876	I.N.V.	3	81.26	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Cristalina	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	86+460	I.N.V.	2	50.98	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Granja	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	38+846	I.N.V.	1	35.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
La Habana	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	61+157	I.N.V.	4	107.36	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	Segmentada
La Hundida	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	16+380	I.N.V.	2	54.4	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Leticia	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	73+700	I.N.V.	2	51.32	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Linda	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	58+848	I.N.V.	1	21.44	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
La María	Quindío	Armenia - La Línea - Ibagué	0+0330	I.N.V.	1	25.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Miel (Derecha)	Antioquia	La Pintada - Medellín	57+0000	I.N.V.	3	81.58	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
La Miel (Izquierda)	Antioquia	La Pintada - Medellín	57+0040	I.N.V.	3	81.37	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Perla	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	9+670	I.N.V.	1	20.59	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
La Pisquina	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	22+500	I.N.V.	1	30.44	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Salada	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	77+980	I.N.V.	3	67.23	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
La Suiza	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	91+090	I.N.V.	2	61.52	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Tebaida	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	53+770	I.N.V.	2	46.8	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
La Víbora (Izquierda)	Risaralda	Pereira - Manizales	0+870	ANI	1	16.52	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Las Palmeras	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	50+726	I.N.V.	1	20.49	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Lembo 1		Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	22+785	ANI	3	118.51	Trabe cajón, 1 cajón	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	N/A
Llano Grande	Caldas	Tres Puertas - La Estrella	10+0434	ANI	1	25.4	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	N/A
Los Guayabos (Izquierda)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	75+0400	I.N.V.	1	24	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Monte Azul	Antioquia	La Pintada - Medellín	59+0420	I.N.V.	3	93.8	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Montecristo Norte (Derecha)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	43+880	ANI	1	30.5	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
N/A: Información no disponible									

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Montecristo Sur (Izquierda)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	43+880	ANI	1	30.4	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Morales (Derecha e Izquierda)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	93+0650	Concesión Departamental	1	32	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Naranjala (Izquierda)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	22+050	I.N.V.	1	16.4	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Palagua Norte (Derecha)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	111+870	ANI	1	36	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Palagua Norte (Izquierda)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	111+870	ANI	1	31	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Paso elevado Campo Alegre (Derecha)	Valle	Andalucía - Cerritos	0+0880	Concesión Departamental	2	24.5	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Paso elevado Campo Alegre (Izquierda)	Valle	Andalucía - Cerritos	0+0880	Concesión Departamental	2	24.5	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Paso elevado Tuluá (La Marina) (Izquierda)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	94+0250	Concesión Departamental	1	16.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
N/A: Información no disponible									

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Paso elevado Tuluá (La Marina) (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	94+0250	Concesión Departamental	1	14	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	Segmentada
Paso No. 5	Quindío	La Paila - Armenia	16+580	ANI	4	82.65	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Pénjamo	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	72+860	I.N.V.	1	30.8	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Piedras Blancas (Derecha)	Antioquia	Medellín - Santuario	9+620	I.N.V.	3	39.86	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Pre-retorno Monte Azul (Izquierda)	Antioquia	La Pintada - Medellín	59+0231	I.N.V.	3	93.8	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Puente 78	Risaralda	Par Vial Romelia - La Postrema	7+800	ANI	8	113.88	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Puente Calle 128 (Izquierda)	Antioquia	La Pintada - Medellín	56+0799	I.N.V.	2	50.46	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Puente Nuevo (Derecha) (verificar)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	103+0270	ANI	1	33	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Puente PR 59+0620	Antioquia	La Pintada - Medellín	59+0620	I.N.V.	4	68.41	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Puente PR 62 + 0595	Antioquia	La Pintada - Medellín	63+0169	I.N.V.	2	50.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada El Ahorcado (Derecha) (Orcado)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	93+0400	Concesión Departamental	1	18.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	
Quebrada Arenillo (Derecha)	Caldas	Tres Puertas - Puente La Libertad	17+500	ANI	3	45.48	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Quebrada La Francia (Derecha)	Caldas	Tres Puertas - Puente La Libertad	17+200	ANI	3	33.09	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada La Rivera (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	91+0900	Concesión Departamental	1	33.5	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Quebrada La Rivera (Izquierda)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	91+0900	Concesión Departamental	1	33.5	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Quebrada La Triguereña	Santander	Cruce Ruta 45 (La Fortuna) - Bucaramanga	23+820	ANI	3	81.1	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada Murillo 1 (Derecha)	Valle	Andalucía - Cerritos	13+0735	Concesión Departamental	1	17.1	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	
Quebrada Nueva	Quindío	La Paila - Armenia	14+570	ANI	1	18.4	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	Segmentada
N/A: Información no disponible									

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Quebrada Oloroso	Antioquia	Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	4+505	I.N.V.	1	20.18	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada presidente (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	75+0970	Concesión Departamental	1	20.1	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	Segmentada
Quebrada Sabaneta (Derecha)	Cundinamarca	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	70+900	I.N.V.	1	37.1	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	
Quebrada San Pedro (Derecha) (Quebrada Artieta)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	82+0475	Concesión Departamental	1	10.6	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto reforzado, in situ	Segmentada
Quebrada Santa María	Santander	Cruce Ruta 45 (La Fortuna) - Bucaramanga	22+0315	ANI	3	57.9	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada Santa María (antiguo)	Santander	Cruce Ruta 45 (La Fortuna) - Bucaramanga	22+0315	ANI	1	37.2	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada Seca (Izquierda)	Antioquia	Medellín - Santuario	1+920	I.N.V.	1	29	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	
Quebrada Velásquez	Tolima	Honda - Río Ermitaño	93+020	ANI	1	29.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	
N/A: Información no disponible									

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Quebrada Zabaletas (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	99+0325	Concesión Departamental	1	30.1	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto presforzado, in situ	
Río Blanco (Izquierda)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	77+577	I.N.V.	1	44.1	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	
Río Bugalagrande (Derecha)	Valle	Andalucía - Cerritos	4+0100	Concesión Departamental	1	40	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Río Guadalajara (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	67+0250	Concesión Departamental	2	60.2	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto presforzado, prefabricado	N/A
Río Guadalajara (Izquierda)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	67+0250	Concesión Departamental	2	50.6	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Río La Paila (Derecha)	Valle	Andalucía - Cerritos	22+0140	Concesión Departamental	2	66	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Río Medellín I (Derecha)	Antioquia	La Pintada - Medellín	54+0809	I.N.V.	3	59.86	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Río Medellín II	Antioquia	La Pintada - Medellín	64+0300	I.N.V.	3	93.18	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Río Negrito Norte (Derecha)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	65+563	ANI	1	36	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
N/A: Información no disponible									

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Río Negrito Sur (Izquierda)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	65+563	ANI	1	36	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Río Negro Norte (Derecha)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	68+747	ANI	3	143	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Río Negro Sur (Izquierda)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	68+747	ANI	3	143	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Río Paguey (Izquierda)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	13+0960	I.N.V.	1	40.9	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Río San Marcos (Derecha)	Valle	Cali - Viges - Mediacanoa	21+500	ANI	1	25.92	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, prefabricado & in situ	N/A
Río Subia (Derecha)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	78+230	I.N.V.	1	40.3	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Río Tuluá (Derecha)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	90+0694	Concesión Departamental	5	163	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Río Tuluá (Izquierda)	Valle	Cali - Palmira - Andalucía	90+0694	Concesión Departamental	5	163	Losa / Viga, 3 vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Saca Mujeres (Izquierda)	Tolima	Honda - Río Ermitaño	100+120	ANI	1	23	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
N/A: Información no disponible									

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Saca Mujeres Norte	Tolima	Honda - Río Ermitaño	100+120	ANI	1	30.8	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
San Antonio	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	75+795	I.N.V.	1	31.08	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
San Juan Mayor		Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	23+302	ANI	5	168.8	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
San Juan Menor		Variante El Pollo - Chinchiná (Santa Rosa)	23+048	ANI	1	46.21	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
San Nicolás (Izquierda)	Antioquia	Girardot - Silvania - Bogotá (Bosa)	71+600	I.N.V.	1	24.2	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Santa Isabel (Derecha)	Risaralda	Pereira - Manizales	4+080	ANI	1	22.6	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Santa Isabel (Izquierda)	Risaralda	Pereira - Manizales	4+080	ANI	1	22.52	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto reforzado, in situ	N/A
Seco	Antioquia	Santuario - Cruce Ruta 45 (Caño Alegre)	84+120	I.N.V.	1	30.86	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	Segmentada
Sin Nombre (PR 31+550)	Santander	Cruce Ruta 45 (La Fortuna) - Bucaramanga	31+550	ANI	4	158.3	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A

N/A: Información no disponible

ANEXO C (continuación): Base de puentes nacionales

Puente	Territorio	Carretera	P-R-	Concesión	Luces	longitud total (m)	Estructura transversal	Material estructura	Tipo de viga
Sin nombre (PR 56 + 510)	Tolima	Armenia - La Línea - Ibagué	56+510	ANI	1	25.6	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Sin nombre (PR 64 + 040)	Tolima	Armenia - La Línea - Ibagué	64+040	ANI	1	36.1	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Tablaza (Derecha)	Antioquia	La Pintada - Medellín	61+0013	I.N.V.	1	26.5	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Tablaza (Izquierda)	Antioquia	La Pintada - Medellín	61+0013	I.N.V.	1	26.72	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Terpel (62+0860)	Antioquia	La Pintada - Medellín	63+0506	I.N.V.	1	30.7	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, in situ	N/A
Vequedo	Caldas	Cauyá - La Pintada	89+0683	ANI	3	60.78	Losa / Viga, 4 ó más vigas	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	N/A
Viaducto Túnel Guarne No. 1	Antioquia	Medellín - Santuario	12+0600	I.N.V.	1	30.11	Losa / Viga, 2 vigas	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	Segmentada
Viaducto Túnel Guarne No. 2	Antioquia	Medellín - Santuario	12+0850	I.N.V.	3	95.7	Losa / Viga, 2 vigas	Concreto presforzado, prefabricado & in situ	Segmentada

N/A: Información no disponible