

ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN ACCELERADA DE PUENTES “CAP”

JORGE LUIS VARGAS SANABRIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a Dios, porque sé que sin él nada de esto habría sido posible. Por la nueva oportunidad de vida otorgada, porque jamás me ha abandonado, y sé que jampas lo va a hacer.

Dedico este gran logro a mis padres María Elena Sanabria y Fredy Jaime Bernal, quienes con tanto esfuerzo y sacrificio lo ha dado todo por mí, a mi abuela Inés Camacho, por ser esa luz que me guía, a mi hijo Alejandro Vargas, por ser motor que me impulsa a seguir adelante y jamás decaer...

Doy un agradecimiento especial a mi novia, amiga, colega, compañera, la Ing. Marcela Padierna Castiblanco, por ser ese faro de esperanza quien por más errores que he tenido, jamás ha dejado de guiarme y acompañarme, brindando siempre una mano y apoyo.

A todo el cuerpo docente y administrativo de la escuela de ingeniería civil, por guiarme paso a paso por este gran camino de la enseñanza y el aprendizaje, al Director del Proyecto el Ing. Álvaro Viviescas Jaimes, por una paciencia a prueba de todo. Un sincero agradecimiento a un gran colega el Ing. Wilmer Duarte, por los conocimientos compartidos y apoyo en éste proceso.

Agradezco inmensamente a cada una de las personas, que con su esfuerzo, apoyo, dedicación y perseverancia creyeron en mí y fueron partícipes de toda ésta evolución y el peldaño que alcanzo hoy, no sin dejar de escalar por mis sueños, metas y propósitos por seguir llegando más allá...

Ing. Civil Jorge Luis Vargas Sanabria

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	14
1. Objetivos	15
1.1. Objetivo general.....	15
1.2. Objetivos específicos	15
1.3. Alcance	15
2. Fundamentos de la construcción acelerada de puentes.....	16
2.1. Glosario	16
2.2. Introducción a la construcción acelerada de puentes.....	17
2.2.1. Construcción acelerada de puentes (CAP).....	17
2.2.2. Beneficios de la construcción acelerada de puentes.	18
2.2.3. Equipo de trabajo en la construcción acelerada de puentes.	18
2.2.4. Elementos y sistemas de puentes prefabricados (ESPP).....	19
2.3. Técnicas para diferentes proyectos (cap).....	27
2.3.1 Sustitución y construcción de puentes.....	28
2.3.2 Rehabilitación de los puentes existentes.	30
2.4. Cap en regiones sísmicas	33
2.4.1 Antecedentes.....	33
2.4.2. Conexiones entre elementos segmentados en regiones sísmicas.....	35
2.4.3. Utilización de vigas prefabricadas para la construcción acelerada de puentes en zonas de amenaza sísmica alta.	36
2.4.4. Conexión viga longitudinal sección I a viga cabezal sección T invertida.....	36
2.4.4.1. <i>Viga cabezal.</i>	38

2.4.4.2.	<i>Puente prototipo.</i>	39
2.4.4.3.	<i>Unidad experimental y plan de prueba.</i>	40
2.4.4.4.	<i>Resultados de las pruebas de la Fase I.</i>	41
2.4.4.5.	<i>Resultados de las pruebas de la Fase II.</i>	44
2.4.4.6.	<i>Conclusiones.</i>	45
3.	Plan de implementación (cap) en usa.....	47
3.1.	Sistemas de movimiento de puentes	49
3.1.1.	Self-propelled modular transporter (SPMT)	49
3.1.1.1.	<i>Equipo de escaneo.</i>	49
3.1.1.2.	<i>Antecedentes.</i>	50
3.1.1.3.	<i>Estrategia.</i>	50
3.1.1.4.	<i>Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:</i>	51
3.1.2.	Otros sistemas de instalación de puentes	51
3.1.2.1.	<i>Equipo de escaneo.</i>	51
3.1.2.2.	<i>Antecedentes.</i>	52
3.1.2.3.	<i>Estrategia.</i>	53
3.1.2.4.	<i>Entregables.</i>	54
3.2.	Sistemas de superestructura	54
3.2.1.	Poutre Dalle o sistema de T invertida	54
3.2.1.1.	<i>Equipo de escaneo.</i>	55
3.2.1.2.	<i>Antecedentes.</i>	55
3.2.1.3.	<i>Estrategia.</i>	55
3.2.1.4.	<i>Entregables.</i>	56

3.2.2. Cubiertas de hormigón prefabricado de profundidad parcial.....	56
3.2.2.1. <i>Equipo de escaneo.</i>	56
3.2.2.2. <i>Antecedentes.</i>	56
3.2.2.3. <i>Estrategia.</i>	57
3.2.2.4. <i>Entregables.</i>	57
3.2.3. Segmentos de sección U con nervaduras transversales o puntales	58
3.2.3.1. <i>Equipo de escaneo.</i>	58
3.2.3.2. <i>Antecedentes.</i>	59
3.2.3.3. <i>Estrategia.</i>	59
3.2.3.4. <i>Entregables.</i>	60
3.3. Sistemas de cubierta.....	60
3.3.1. Cubiertas en concreto prefabricadas de la profundidad completa.	60
3.3.1.1. <i>Equipo de escaneo.</i>	60
3.3.1.2. <i>Antecedentes.</i>	61
3.3.1.3. <i>Estrategia.</i>	61
3.3.1.4. <i>Entregables.</i>	62
3.3.2. Detalles de cierre de junta de cubierta	62
3.3.2.1. <i>Equipo de escaneo.</i>	63
3.3.2.2. <i>Antecedentes.</i>	63
3.3.2.3. <i>Estrategia.</i>	64
3.3.2.4. <i>Entregables.</i>	64
3.3.3. Sistema de cubierta compuesto Acero-Concreto	65
3.3.3.1. <i>Antecedentes.</i>	65

3.3.3.2.	<i>Estrategia</i>	66
3.3.3.3.	<i>Entregables</i>	66
3.3.4.	Sistemas de protección contra la corrosión a varios niveles	66
3.3.4.1.	<i>Equipo de escaneo</i>	66
3.3.4.2.	<i>Antecedentes</i>	67
3.3.4.3.	<i>Estrategia</i>	68
3.3.4.4.	<i>Entregables</i>	68
3.4.	Sistema de la Subestructura	68
3.4.1.	Sistema SPER	68
3.4.1.1.	<i>Equipo de escaneo</i>	69
3.4.1.2.	<i>Antecedentes</i>	69
3.4.1.3.	<i>Estrategia</i>	70
3.4.1.4.	<i>Entregables</i>	70
4.	Conclusiones	71
5.	Referencias bibliográficas.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Abreviaturas.....	17
Tabla 2	Ítems implementados en la excursión.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Elementos de puentes prefabricados.....	19
Figura 2	Tableros prefabricados	21
Figura 3	Vigas prefabricadas	22
Figura 4	Elemento prefabricado Tipo pier.....	23
Figura 5	Esquema de sistema de puente prefabricado	24
Figura 6	. Superestructura prefabricada de concreto.....	25
Figura 7	Superestructura prefabricada de acero.....	26
Figura 8	Subestructura puente Edison	27
Figura 9	Sustitución de tablero de profundidad completa.	31
Figura 10	Sustitución de superestructura usando ESPP.....	31
Figura 11	Sustitución finalizada de superestructura prefabricada	32
Figura 12	Instalación de prueba de columnas por segmentos	35
Figura 13	Sistema viga T invertida	37
Figura 14	Viga T invertida	38
Figura 15	Esquema del puente prototipo.....	39
Figura 16	Resultados de las pruebas en la unidad de ensayo (Fase I).....	42
Figura 17	Fuerza horizontal vs. Desplazamiento lateral de la superestructura	43
Figura 18	Actuadores verticales Fase II.....	44
Figura 19	Subestructura del puente Maryland Ave sobre self-propelled modular transporter 49	
Figura 20	Poutre Dalle Beam	55
Figura 21	Montaje de segmentos de una viga del Viaducto Furukawa.....	58

Figura 22	Instalación de tablero o cubierta de profundidad completa	60
Figura 23	Detalle de junta de cubierta.....	62
Figura 24	Detalle de junta de cubierta.....	65
Figura 25	Sistema SPER	69

RESUMEN

TITULO:

ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN ACELERADA DE PUENTES “CAP” *

AUTOR:

VARGAS SANABRIA, Jorge Luis**

PALABRAS CLAVES:

Construcción Acelerada de Puentes (CAP), Elementos y Sistemas Prefabricados de Puentes (ESPP), Sistemas de Superestructura, Sistemas de Subestructura.

CONTENIDO:

La ampliación de la red vial nacional y la construcción de las autopistas de cuarta generación en Colombia ha generado la necesidad de implementar técnicas modernas, una cultura con sentido industrial y empresarial, con procesos acelerados para la administración, gestión y construcción de puentes y viaductos; lo que finalmente se denomina como: Construcción Acelerada de Puentes (CAP). Lo anterior es un tema relativamente nuevo y desconocido por los constructores e ingenieros diseñadores de este país.

Este trabajo presenta una breve recopilación de fragmentos de diversas investigaciones científicas, antecedentes, técnicas y tecnologías usadas en la construcción acelerada de puentes (CAP). Para llevar a cabo el presente trabajo se recopila, selecciona, y estudian referencias bibliográficas de diferentes autores; sobre la fundamentación teórica, ventajas, tecnologías empleadas, metodologías aplicadas y casos de éxitos en la construcción acelerada de puentes en diferentes países del mundo.

Finalmente se elabora el presente documento que servirá como material bibliográfico de apoyo para futuros estudios de investigación sobre la construcción acelerada de puentes.

*Proyecto de grado. Modalidad Monografía

**Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas – Escuela de Ingeniería Civil

Director: PhD. Ing. Álvaro Viviescas Jaimes

ABSTRACT**TITLE:**

CURRENT STATE OF ACCELERATED BRIDGE CONSTRUCTION “ABC” *

AUTHORS:

VARGAS SANABRIA, Jorge Luis**

KEYWORDS:

Accelerated Construction of Bridges (ABC), Prefabricated Bridge Elements and Systems (PBES), Superstructure Systems, Substructure Systems.

CONTENT:

The expansion of the national road network and the construction of the fourth generation highways in our country has generated the need to implement modern techniques, a culture with industrial and business sense, with accelerated processes for the administration, management and construction of bridges and viaducts ; What finally is denominated like: Accelerated Construction of Bridges (ABC). This is a relatively new topic unknown to the builders and engineers of our country.

This work presents a brief compilation of fragments of diverse scientific investigations, antecedents, techniques and technologies used in the accelerated construction of bridges (CAP). To carry out the present work we collect, select, and study bibliographical references of different authors; On the theoretical basis, advantages, technologies used, methodologies applied and success stories in the accelerated construction of bridges in different countries of the world.

Finally, the present document will be prepared as bibliographical material to support future research studies on the accelerated construction of bridges.

* Degree Work. Type monograph

**Faculty of physical engineering mechanics - school of Civil Engineering

Director: PhD. Ing. Álvaro Viviescas Jaimes

Introducción

En la actualidad la mayoría de vías urbanas están altamente congestionadas y el costo de mantener el control del tráfico a través de una zona de trabajo puede variar en cualquier lugar del 10% en zonas rurales al 40% en zonas urbanas del costo total de la construcción. En algunos casos el cierre total del flujo del tráfico de una vía durante un largo periodo de reconstrucción hace inviable el proyecto y se debe pensar en rutas alternas (ABC MANUAL ,2013).

Una manera efectiva de reducir inconvenientes generados por la construcción y la rehabilitación de puentes a los usuarios que se transportan por la vía es reducir al mínimo su tiempo de construcción. Lo anterior permitiría disminuir las interrupciones del tráfico lo que reduce el tiempo de exposición de los usuarios a la congestión vehicular, lo cual debería ser un objetivo fundamental en la planificación del diseño y la construcción de puentes.

El objetivo de este trabajo es recopilar y presentar a manera de resumen información referente a las técnicas y tecnologías de construcción acelerada de puentes implementadas en países desarrollados, que podrían aplicarse en Colombia.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Elaborar un documento informativo sobre la evolución y tendencias actuales a nivel mundial de la construcción acelerada de puentes.

1.2. Objetivos específicos

- Recopilar y clasificar a partir de la literatura científica, información sobre la evolución y las técnicas actuales de la construcción acelerada de puentes.
- Identificar las técnicas de construcción acelerada de puentes usadas en diferentes países desarrollados.
- Identificar las ventajas de la construcción acelerada de puentes.

1.3. Alcance

El presente trabajo busca recopilar información sobre las técnicas de construcción acelerada de puentes y así identificar las más utilizadas en diferentes países de diferentes continentes y las ventajas que ofrece la construcción acelerada de puentes.

2. Fundamentos de la construcción acelerada de puentes

2.1. Glosario

En la siguiente tabla se encontrara el significado de las abreviaturas utilizadas en este trabajo para una mejor comprensión.

SIGLA	SIGNIFICADO
ABC	Accelerated Bridge Construction.
CAP	Construcción Acelerada de Puentes
AASSTHO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AGC	Associated General Contractors
ARTBA	American Road & Transportation Builders Association
BDA	Bridge Desing Aid
BDS	Bridge Desing Specifications
BIRF	Bridge Research and Deployment
CALTRANS	California Department of Transportation (Departamento de Transporte de California)
DOT	Department of transportation
DTFHA	Department of Transportation, Federal Highway Administration
ESPP	Elementos y Sistemas Prefabricados de Puentes
PBES	Prefabricated Bridge Elements and Systems
FHWA	The Federal Highway Administration (La Administración Federal de Carreteras)
IBRD	Innovative Bridge Research and Deployment

LTAP	Institute for Transportation Research and Education
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NSBA	National Steel Bridge Alliance
PCI	Prestressed Concrete Institute
SCOH	School City of Hobart
SDC	Seismic Design Criteria
SPMT	Self-propelled modular transporter
SNCF	Société Nationale des Chemins de fer Français
SNCF	Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses
SETRA	Setra Prestress concrete bridge.
TRB	Transportation Research Board
WSD	Washington State Department of Transportation

Tabla 1 *Abreviaturas*

2.2. Introducción a la construcción acelerada de puentes

2.2.1. Construcción acelerada de puentes (CAP). La construcción acelerada de puentes (CAP) en inglés Accelerated Bridge Construction (ABC), es un método constructivo de puentes que utiliza una planificación innovadora, diseño sofisticado, materiales y métodos seguros de construcción con el objetivo de reducir el tiempo de interrupción del flujo de tráfico vehicular durante la construcción, sustitución o rehabilitación de puentes (ABC MANUAL, 2013).

2.2.2. Beneficios de la construcción acelerada de puentes. La construcción acelerada de puentes Tiene varias ventajas sobre los métodos de construcción convencionales. Las principales ventajas de la innovadora tecnología de construcción acelerada de puentes pueden resumirse de la siguiente manera:

- Reducción del tiempo de construcción en proyectos de autopistas, aplicables tanto a puentes como a obras viales,
- Mejor calidad de construcción,
- Mayor seguridad en las zonas de trabajo,
- Mejor constructibilidad,
- Reducción de la interrupción del tráfico y los impactos adversos en las personas que se movilizan por la ruta del proyecto.
- Minimizar el impacto ambiental,

2.2.3. Equipo de trabajo en la construcción acelerada de puentes. En la construcción acelerada de puentes surge la necesidad de trabajo en equipo; reorganización de la gestión de la construcción; el papel de consultor, contratista y cliente; y temas de construcción escalonada y procedimientos alternativos de construcción de diseño-construcción.

Necesidad de trabajo en equipo para la terminación temprana: La terminación temprana es la consideración primordial del proyecto. Nada debe interponerse en el camino de completar un proyecto de manera eficiente, rentable y de alta calidad. Cuando el propietario, los ingenieros y el contratista trabajan juntos desde el inicio del proceso, suceden cosas buenas. Muchos expertos son mejores que uno. Una buena ingeniería también minimiza las correcciones rápidas y los cambios en el campo (KHAN, 2008).

2.2.4. Elementos y sistemas de puentes prefabricados (ESPP). El uso de elementos y sistemas prefabricados de puentes (ESPP) en inglés Prefabricated Bridge Elements and Systems (PBES), es una estrategia que permite cumplir con los objetivos de la construcción acelerada de puentes. (ESPP) hace referencia a componentes estructurales de un puente que se fabrican en el taller, generalmente cerca del sitio del puente, los (ESPP) se caracterizan por reducir el tiempo de construcción y el tiempo de impacto de movilidad que se producen los métodos convencionales de construcción.

Los (ESPP) requieren de innovaciones por parte de los ingenieros diseñadores y materiales de alto rendimiento y se puede combinar con el uso de métodos industriales de construcción. Debido a que los (ESPP) se construyen fuera de la vía y bajo condiciones ambientales controladas, las mejoras en cuanto a seguridad, calidad y durabilidad a largo plazo son evidentes (DTFHA, 2006). En la Figura 1 se aprecia diferentes elementos de un puente prefabricado.



Figura 1 *Elementos de puentes prefabricados*¹

¹ Fuente: The Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI)

Los elementos prefabricados son una categoría de (ESPP) que conforman un único componente estructural del puente. Bajo el contexto de (CAP), los elementos prefabricados reducen el tiempo de construcción que se necesita para construir un componente estructural similar mediante los métodos convencionales de construcción. Generalmente estos elementos se construyen de una manera prefabricada y a gran escala con el fin de compensar los costos, estos elementos prefabricados permiten una fácil reparación y sustitución. El reto está en cómo se conectan estos componentes estructurales, y en cómo se comportan ante cargas sísmicas (DTFHA, 2006).

a. Elementos prefabricados

- I. **Tableros prefabricados.** Los tableros prefabricados eliminan actividades que están asociadas con la construcción del tablero convencional, como el figurado y armado del acero del refuerzo, el encofrado del tablero, el vaciado y curado del concreto *in situ*. En la Figura 2 parte a) se observa el acopio de los tableros prefabricados y en la Figura 2 parte b) se observa la instalación de los tableros prefabricados sobre las vigas del puente.

a) Acopio de tableros prefabricados



b) Instalación de tableros prefabricados



Figura 2 *Tableros prefabricados*²

A continuación, se mencionan algunas de las tipologías de tablero más comunes (ABC MANUAL, 2013).

- Tablero prefabricado de profundidad parcial
- Tablero prefabricado con y sin postensado longitudinal profundidad parcial
- Tablero prefabricado ligero
- Tablero con sistema de fibras de refuerzo

II. Vigas prefabricadas. Las vigas prefabricadas son elementos que se clasifican en dos tipos: viga “segmentada con tablero” y “viga de ancho completo”. Las vigas con tablero se izan de manera colindante entre sí, lo que ayuda para el armado del tablero. En la Figura 3, se puede ver una viga prefabricada de concreto durante el proceso de izaje.

² Fuente: The Precast/Prestressed Concrete Institute, 2010.
| Fuente: WSDT. (Condado de Okanogan, 1931)



Figura 3 *Vigas prefabricadas*³

A continuación, se presentan algunos ejemplos de vigas segmentadas:

- Tablero adyacente vigas T
- Vigas adyacentes doble T
- Vigas T invertidas adyacentes
- Vigas cajón adyacentes
- Vigas modulares con tablero
- Otros elementos de viga adyacentes prefabricados
- Tramo de puente sin tablero
- Luz del arco sin tablero

³ Fuente: WSDT. (Condado de Okanogan, 1931)

III. Elementos *tipo Pier*. Los elementos *tipo pier* prefabricados al igual que todos los elementos prefabricados evitan actividades que están asociadas con la construcción convencional, a continuación se muestra la instalación de la viga cabezal del elemento *tipo pier* en la Figura 4



Figura 4 *Elemento prefabricado Tipo pier*⁴

A continuación, se presentan algunos ejemplos de elementos *tipo pier*:

- Tapas de cajones prefabricados para pilotes y fundaciones
- Cimientos prefabricados
- Columnas prefabricadas
- Vigas cabezal
- Sistema prefabricado viga cabezal y columnas
- Otros elementos de soporte prefabricados

b. Sistemas prefabricados

Los sistemas prefabricados consisten en la elaboración en taller de toda la superestructura y la subestructura, o un puente total que se adquirió de una manera modular de modo que las

⁴ Fuente: Grupo Pacadar, www.pacadar.es

operaciones de tráfico se pueden reanudar después de la colocación. Los sistemas prefabricados consisten en deslizar, poner en marcha, levantar o transportar el puente hasta su puesto; generalmente el puente tiene el tablero y preferiblemente los elementos en su lugar de tal manera que no se requiere ninguna fase de construcción por separado después de la colocación. Debido a la manera en la que están instalados, los sistemas prefabricados a menudo requieren innovaciones en la planificación, diseño de ingeniería, materiales de alto rendimiento, y los "métodos de colocación estructurales" (KHAN 2008). En la Figura 5 se puede ver el esquema de un sistema de puente prefabricado conformado por sus diferentes elementos modulares.

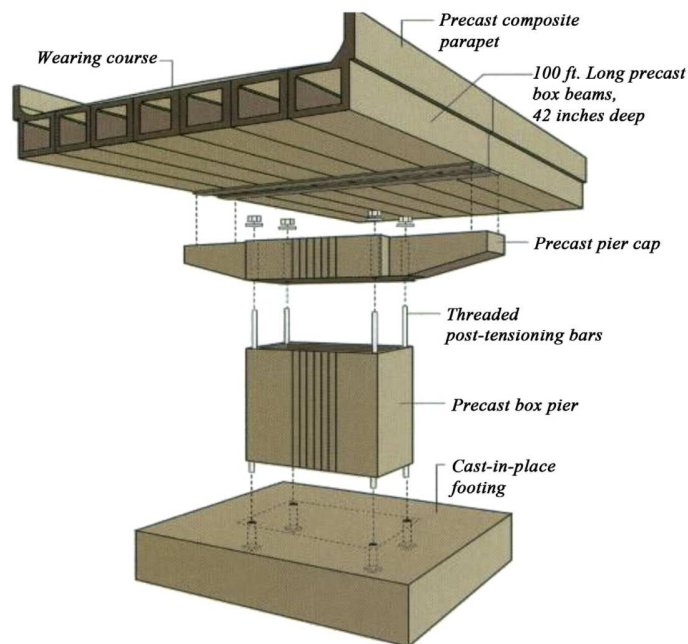


Figura 5 *Esquema de sistema de puente prefabricado*⁵

⁵ Fuente: (KHAN 2008)

Los beneficios del uso de sistemas prefabricados presentan a continuación:

- Evita la reubicación de servicios públicos
- Desvío de tráfico durante un período tiempo muy cortó.
- Conservación de la alineación de la calzada existente
- No requiere vías alternas temporales
- No estructuras de puentes temporales

I. Sistemas de superestructura: Los sistemas de superestructura incluyen el tablero y los elementos principales de soporte de una manera modular integrada, de modo que las interrupciones de movilidad sólo se producen cuando el sistema es colocado. Estos sistemas se pueden deslizar, poner en marcha, levantar o transportar el puente hasta su puesto, ya sea en subestructuras existentes o nuevas (pilares *tipo pier*) que se han construido de una manera que no afecte la movilidad. En las Figuras 6 y 7 se observa el desplazamiento de una superestructura de concreto y metálica respectivamente a cargo de la compañía Mammoet.



Figura 6 . Superestructura prefabricada de concreto⁶

⁶ Fuente: compañía Mammoet. Recuperado de: www.mammoet.com



Figura 7 *Superestructura prefabricada de acero*⁷

II. Sistemas Subestructura. Los sistemas prefabricados de subestructura incluyen cualquiera de los elementos interiores que están integrados de manera modular con la superestructura. Los sistemas de subestructura se pueden deslizar, poner en marcha, levantar o transportar hasta su puesto ya sea en subestructuras nuevas o existentes que se han construido de una manera que no afecte la movilidad. A continuación en la Figura 8 a) se verá la subestructura del puente Edison antes de la colocación de la superestructura y en la 8 b) la subestructura sosteniendo la superestructura.

a) Sistema de subestructura



Fuente: compañía Mammoet. Recuperado de: www.mammoet.com

b) Sistema de subestructura sosteniendo la superestructura**Figura 8** *Subestructura puente Edison*⁸

III. Sistemas de puente total: Los sistemas de puente total incluyen toda la superestructura y la subestructura (ambos estribos y pilares) que son integrales con la superestructura que se construyen fuera de la vía y se instala de manera que permita las operaciones de tráfico inmediatamente después de la colocación. Esto excluye a los proyectos que se construyen fuera de la vía y una vez completado, el tráfico se "desplaza" a una vía alterna. Los sistemas de puente total típicamente requieren innovaciones en diseños, materiales de alto rendimiento, y los "métodos estructurales de colocación" con o sin el uso de métodos industrializados.

2.3. Técnicas para diferentes proyectos (cap)

La construcción acelerada de puentes es más efectiva en proyectos que requieren la gestión del tráfico durante la construcción como por ejemplo en entornos urbanos. Esta sección tratará sobre cómo la CAP se puede aplicar a los diversos tipos de proyectos de puentes.

⁸ Fuente: Splice Sleeve North America Inc.
Fuente: Splice Sleeve North America Inc

2.3.1 Sustitución y construcción de puentes. El reemplazo de puentes enteros y la construcción de nuevos puentes van más allá de la sustitución del tablero o la superestructura completa debido a que también existe la necesidad de sustituir la subestructura y fundaciones. Esto añade un nivel de complejidad al proyecto; sin embargo, los métodos ABC siguen siendo adecuados en muchos casos.

La sustitución de un puente existente es diferente a la construcción de un puente nuevo en otra ubicación. La sustitución de un puente existente se presentan problemas de control de tráfico y toma mayor importancia el uso de las técnicas de construcción acelerada del puente.

A continuación, se describen el papel que puede desempeñar la construcción acelerada de puentes en la sustitución o construcción de puentes nuevos.

a) Puesta en escena. En muchos proyectos de infraestructura se debe mantener la continuidad del tráfico a través de la obra de construcción, debido a las dificultades para crear rutas alternas. Esto implica por lo general múltiples etapas de construcción y la necesidad de reducir al mínimo la duración de cada etapa de construcción. En algunos casos, la prefabricación completa de la superestructura no es posible debido a conflictos con las carreteras adyacentes; sin embargo, el uso de elementos prefabricados individuales siempre es una posibilidad para reducir la duración de las diferentes etapas durante la construcción de la superestructura y subestructura de un puente.

Sin embargo, el equipo de trabajo del proyecto debe hacer una evaluación costo-beneficio entre la construcción por etapas y el cierre completo del flujo vehicular mediante un desvío.

El cierre completo ofrece mayor oportunidad para la aceleración de la construcción ya que

el contratista y los equipos tendrán acceso completo al sitio de la obra, también ofrece mayor seguridad en zona de trabajo para los trabajadores y los inspectores.

Durante uno de los talleres de tecnología de construcción FHWA acelerados, el equipo de tecnología determinó que el tiempo de construcción para un proyecto de sustitución por etapas podría reducirse de dos años a tres meses mediante el uso de un cierre completo con un desvío menor.

- b) Cierre completo y construcción del nuevo puente.** En muchos proyectos, todo el lugar de construcción puede ser puesto a disposición del contratista para la construcción de un puente. Esto ocurre en los nuevos puentes que se construyen sobre nuevas rutas, y en los puentes que se construyen con desvíos de tráfico. El cierre total del flujo vehicular a través de la obra ofrece beneficios significativos en el proceso de la construcción acelerada del puente.

Existen situaciones en las que podría no ser apropiado el uso de las técnicas de la CAP para construcciones nuevas; por ejemplo, cuando la construcción del puente no hace parte de la ruta crítica del proyecto.

Sin embargo, todas las estrategias de la construcción acelerada de puentes son aplicables, ya sea en un escenario de cierre de carretera o para una construcción totalmente nueva.

2.3.2 Rehabilitación de los puentes existentes. En Colombia el inventario nacional de puente está envejeciendo; por lo tanto, muchos de los puentes tienen un deterioro significativo. La mayor parte de este deterioro se centra en la superestructura del puente. Proyectos de sustitución del tablero de hormigón son cada vez más comunes. Sin embargo, el deterioro no se limita solamente al tablero, las vigas de soporte también experimentan alteraciones debidas a fugas de las juntas de puentes y la falta de mantenimiento.

En muchos proyectos, la rehabilitación de la infraestructura combinada con la sustitución de elementos de superestructura es factible. A continuación, se describe cómo la construcción acelerada de puentes se puede utilizar para la ejecución de proyectos de rehabilitación de puentes.

- a) **Sustitución del tablero.** La sustitución del tablero en puentes es una de las técnicas más usuales de la construcción acelerada de puentes. La instalación del tablero mediante las técnicas convencionales tarda mucho tiempo, debido a que requiere mano de obra compleja para el armado, montaje de formaleta, vaciado y curado del concreto y desmontaje de formaleta del tablero y cuando se requiere de la gestión del tráfico, se vuelve aún más complicada. La estrategia más rápida de sustitución acelerada de tableros de puentes que se ha utilizado en los Estados Unidos es el uso de paneles prefabricados de profundidad total, como se muestra en la Figura 9.



Figura 9 *Sustitución de tablero de profundidad completa*⁹.

b) **Reemplazo de la superestructura.** El uso de la construcción acelerada de puentes para los proyectos donde se requiere la sustitución de la superestructura es muy común, ya que no depende del tiempo de proceso de construcción de las fundaciones y la subestructura. Varios estados han utilizado varias técnicas CAP para llevar a cabo este tipo de trabajo en muy poco tiempo. Las nuevas superestructuras se pueden construir fuera de las instalaciones y se trasladan a su posición en tan sólo unas pocas horas. En la Figura 10 muestra un proyecto de sustitución de la superestructura en la Interestatal 80 cerca de Salt Lake City. Este proyecto consistió en la sustitución de los cuatro tramos de la superestructura.



Figura 10 *Sustitución de superestructura usando ESPP*¹⁰

⁹ Fuente: Precats / Prestressed concrete institute, 2010. Recuperado de: http://www.pci.org/design_resources/transportation_engineering_resources/precast_bridge_decks/

¹⁰Fuente: U.S Department of Transportation Federal Highway Administration

Otro método de CAP, es el uso de elementos prefabricados. La construcción puede incluir vigas nuevas combinadas con un sistema de tablero prefabricado. En la Figura 11 se muestra la superestructura de un puente sobre la carretera en Concord, usando vigas de acero y paneles de cubierta de profundidad completa, la cual fue sustituida en un fin de semana (New Hampshire DOT, 2010).



Figura 11 *Sustitución finalizada de superestructura prefabricada*¹¹

c) **reemplazo subestructura.** En algunos puentes, la subestructura también puede estar en mal estado. Esto puede ser causado por choques de automóviles con los pilares, presencia de eventos sísmicos, etc.

La sustitución acelerada de las columnas y las vigas de la subestructura consiste en retirar las columnas y vigas deterioradas y reemplazarlas con elementos prefabricados. Para reemplazar únicamente la subestructura es necesario que el sistema de cimentación se encuentre en buen estado y estructuralmente es compatible con los elementos prefabricados.

¹¹ Fuente: U.S Department of Transportation Federal Highway Administration

2.4. Cap en regiones sísmicas

2.4.1 Antecedentes En la reunión anual de la Junta de Investigación de Transporte (TRB) en enero de 2007, los representantes de California accedieron a tomar la iniciativa en el desarrollo de técnicas de CAP que trataban temas sísmicos. El taller fue organizado por TRB, FHWA y Caltrans y se celebró en octubre de 2007 en San Diego, California. Los representantes de varios DOT estatales, FHWA, TRB, investigadores y la industria se reunieron y desarrollaron un plan de acción para guiar futuras actividades sísmicas CAP, como lo son: el diseño de conexiones prefabricadas resistentes a eventos sísmicos, dedicar un capítulo del ASSTHO a los requisitos sísmicos del sistema CAP, crear un comité técnico de sísmica del sistema CAP, entre otros. En enero de 2008 se realizó una jornada de seguimiento. En California, se creó un equipo de trabajo de CAP sísmica, para enfocar los esfuerzos y adelantos logrados. En julio de 2008, este equipo publicó "Accelerated Bridge Construction Applications in California - A Lessons Learned Report", documentando el uso reciente de las técnicas CAP en California. El informe también documenta el uso de la tecnología de hormigón prefabricado. Sin embargo, para implementar completamente los métodos CAP, deben resolverse los problemas sísmicos restantes, particularmente el desarrollo y prueba de detalles de conexión capaces de resistir cargas sísmicas y deformaciones (2007, FHWA).

(Ou et al. 2007) realizaron un estudio analítico investigando el uso de columnas segmentadas para las regiones sísmicas. Este estudio se centró en un detalle de columna que, en su momento, había sido implementado principalmente en regiones de baja sismicidad como Florida, Texas, Carolina del Norte, Virginia y Nueva Jersey. Utilizando primero un modelo analítico simplificado que incorpora un enfoque estadístico, seguido de

un modelo tridimensional detallado de elementos finitos y un estudio paramétrico asociado, este trabajo destacó la conveniencia de un detalle similar para regiones sísmicas altas como California. Las conclusiones más notables de este trabajo incluyeron: (1) el modelo simplificado para el análisis estático de pushover el cual proporcionó una herramienta sencilla para el diseño sísmico de columnas segmentadas pretensadas no sometidas a postensión y (2) el modelo tridimensional de elementos finitos fue capaz de predecir el comportamiento cíclico experimental de segmentos de columnas con buena precisión.

Posteriormente (Ou et al. 2010) continuó con un estudio experimental. La configuración experimental consistió en actuadores verticales para carga por gravedad y un actuador horizontal para carga lateral como se muestra en la Figura 12 para ensayar cuatro especímenes a gran escala. El estudio mostró que las columnas ensayadas se comportaron bien sísmicamente, presentando buen comportamiento dúctil e hysterético. Se encontró que la apertura conjunta entre los segmentos contribuía significativamente a la deriva y por lo tanto era necesario considerar en el diseño de sistemas similares para regiones sísmicas.

El Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT) está trabajando activamente para aumentar la implementación del CAP en las regiones sísmicas (Kyaleghi, 2010).

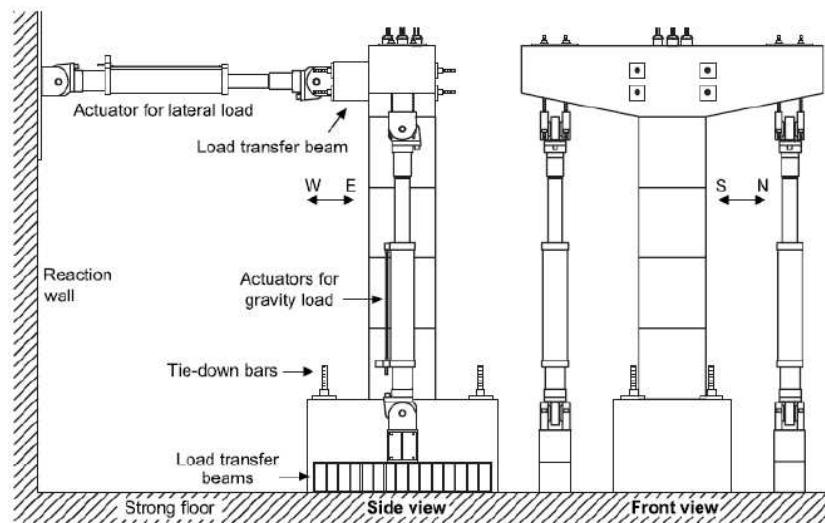


Figura 12 *Instalación de prueba de columnas por segmentos*¹²

2.4.2. Conexiones entre elementos segmentados en regiones sísmicas. A principios de los años 2000, el NCHRP estaba realizando estudios sobre las conexiones entre elementos segmentados para fomentar la implementación de técnicas CAP. NCHRP 519 (Miller et al., 2004) recomienda detalles y especificaciones para el diseño de conexiones de continuidad para vigas prefabricadas de hormigón, incluyendo ejemplos que ilustran el diseño de cuatro tipos de vigas prefabricadas continuas para cargas vivas. La intención del estudio era recomendar conexiones que lograrían una continuidad estructural y así proporcionar conexiones integrales (de momento y resistentes al corte) ya que el enfoque de construcción por segmentos a menudo se aproxima conservadoramente a conexiones simplemente apoyadas.

(Veletzos y Restrepo, 2010) en su trabajo de investigación "Modelado de Conexiones Articuladas en Puentes Segmentados" presenta un enfoque de modelación conjunta por

¹² Fuente: (Ou et al. 2010)

segmentos como un primer paso para estimar con precisión la respuesta sísmica de las conexiones de la superestructura debido a movimientos sísmicos. El enfoque combina la mecánica del medio continuo con un modelo simplificado que utiliza resortes rotacionales, incluyendo la respuesta no lineal de deslizamiento del tendón-rejilla. El estudio incluyó la validación de experimentos a gran escala.

2.4.3. Utilización de vigas prefabricadas para la construcción acelerada de puentes en

zonas de amenaza sísmica alta. Los elementos prefabricados de hormigón en sistemas de puentes son atractivos porque son compatibles con los métodos de construcción acelerada de puentes (CAP). Además, los sistemas integrales de viga T invertida, columnas y vigas prefabricadas de hormigón tienen varias ventajas sobre las estructuras que consisten en vigas de acero o alternativas de hormigón fundido *in situ*. Sin embargo, el uso de vigas prefabricadas de hormigón para el diseño de puentes sismo-resistentes es limitado, principalmente debido a la falta de investigación e información de diseño sobre la conexión entre componentes críticos del puente (Theimann 2009, Snyder 2010).

2.4.4. Conexión viga longitudinal sección I a viga cabezal sección T invertida. (Sritharan,

Vander Werff y Snyder, 2011) realizaron un trabajo de investigación acerca del comportamiento sísmico de un sistema de puentes utilizando una columna de hormigón fundido *in situ* conectada integralmente a una viga T invertida de hormigón fundido *in situ* que soporta vigas I longitudinales de hormigón prefabricado, ver Figura 13.

En los casos en los que California Department of Transportation ha utilizado el sistema de viga cabezal en forma de viga T invertida, la superestructura ha sido diseñada de acuerdo con las recomendaciones de diseño actuales (Caltrans, 2010b; Caltrans, 1995).

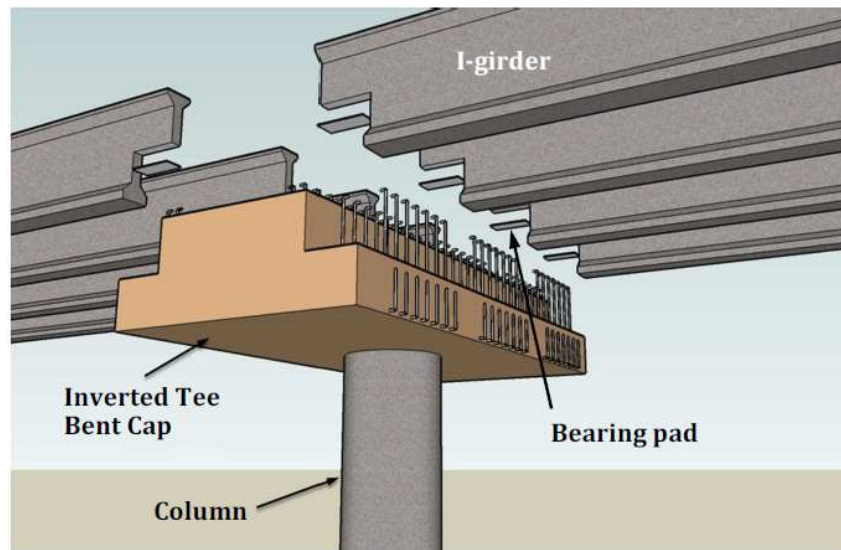


Figura 13 *Sistema viga T invertida*¹³

Parámetros de la investigación:

- a) La conexión de la viga I principal a la viga cabezal en forma de T invertida tendría suficiente resistencia al corte, a momento positivo y a momento negativo para permitir la formación exitosa de una rotula plástica en la parte superior de la columna, presentando un buen comportamiento general del sistema;
- b) validación experimental y documentación de las conexiones de viga cabezal
- c) El enfoque de la investigación incluyó el comportamiento de las conexiones de viga longitudinal a viga cabezal y el comportamiento general del sistema.

¹³ Fuente: (Caltrans 2010)

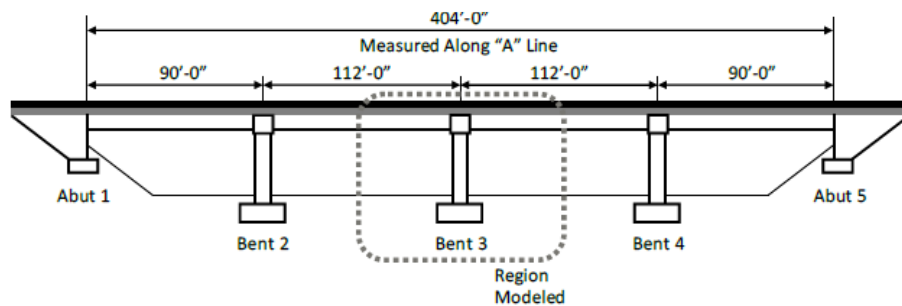
2.4.4.1. Viga *cabezal*. Se estudiaron dos conexiones de viga T invertida, la primera ya se ha utilizado en algunos proyectos en Estados Unidos y la segunda se propone para uso futuro; en una unidad de prueba a gran escala, se mostró la formación de la rótula plástica en la columna. Ver Figura 14. El detalle de la conexión de viga T invertida se ha utilizado en una serie de puentes en todo el estado de California. Cuando se implementó este detalle, la columna se diseñó asumiendo una conexión fija en la base y articulada en la parte superior de la columna (SDC, 2006).



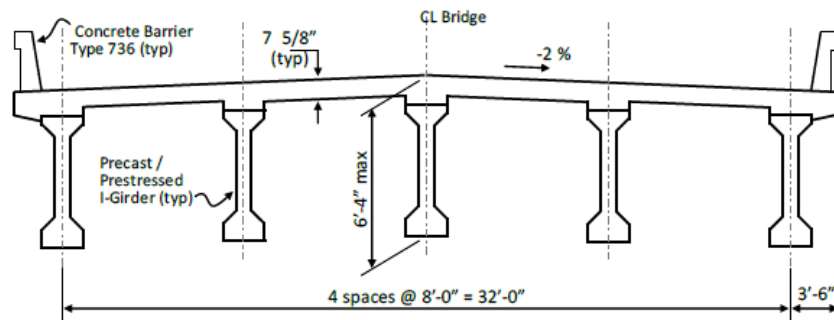
Figura 14 *Viga T invertida*¹⁴

¹⁴ Fuente: (Snyder 2011).

2.4.4.2. Puente prototipo. El prototipo de puente en estudiado se muestra en la Figura 15 este puente fue diseñado de acuerdo con las especificaciones AASHTO LRFD 2006 y Seismic Design Criteria v. 1.4 (SDC 2006). El diseño se realizó mediante el método de elementos finitos con la ayuda de los paquetes de software WinRECOL (TRC / Imbsen), Xtract (TRC / Imbsent) y Conspan (Bentley 2008) para ayudar en el diseño. En (Thiemann 2009) se han documentado los resultados del análisis de elementos finitos, así como la discusión y los cálculos para el diseño de la columna, la viga de tapa, el extremo de la viga y la losa para el prototipo.



(a) Longitudinal elevation



(b) Sectional elevation of superstructure

Figura 15 *Esquema del puente prototipo*¹⁵

¹⁵Fuente: (Snyder, 2010)

2.4.4.3. Unidad experimental y plan de prueba. La unidad de ensayo se desarrolló sobre la base de una escala dimensional del 50% de la estructura del prototipo de la parte central, que representaba un puente típico. Los detalles relativos al diseño de la unidad de ensayo se describen en (Snyder et al. 2011). Debido a que el objetivo principal del estudio se enfocaba en el comportamiento de la conexión entre las vigas longitudinales y la viga cabezal en forma de T invertida, sólo se construyó una columna, con la mitad de un tramo de cada lado. Por lo tanto, la unidad de ensayo consistió en una sola columna con una viga cabezal en forma de T invertida y una superestructura de cinco vigas I superpuestas con una cubierta de cada lado. Con el fin de probar tanto la "conexión existente" como la "conexión mejorada" sin construir dos unidades de prueba, se construyó un lado de la viga de tapa de T invertida usando los detalles construidos anteriormente por la industria de puentes mientras que el otro se construyó utilizando detalles mejorados de la conexión para la región de la viga a la tapa. Se esperaba que la columna desarrollara una rotula plástica en la parte superior, y por lo tanto esta región fue diseñada con un confinamiento adecuado. Dado que la mayor parte de la contribución del momento negativo sería proporcionada por el refuerzo longitudinal en la cubierta (Hastak, Mirmiran, Miller, Shah, Castrodale 2003), se esperaba que ambas conexiones proporcionaran resistencia de momento negativo comparable. Como resultado, basándose en si la superestructura de la unidad de ensayo estaba sometida a una dirección de empuje o de tracción horizontal, se esperaba que el daño a cualquiera de la conexión de momento positivo se reflejara adecuadamente en la respuesta global de la unidad de ensayo (Snyder, 2011). La investigación experimental para este proyecto se dividió en dos fases principales: La primera fase y foco principal de la investigación, denominada Fase I, se orientó principalmente a investigar la suficiencia de

la conexión de tapa a viga con capacidad adecuada para desarrollar la rótula de plástica en la columna bajo la simulación de la carga sísmica. La segunda fase, denominada Fase II, sometió las vigas prefabricadas a cargas verticales cíclicas para someter completamente las conexiones de tapa a viga y para establecer la capacidad final de las conexiones.

A lo largo de las pruebas de Fase I, se simularon los efectos de la carga por gravedad en la unidad de ensayo utilizando dos conjuntos de sujeciones verticales y cuatro accionadores situados en la dirección vertical. Los tirantes se colocaron apropiadamente para modelar de cerca los valores escalados de cizalla y momento en la conexión de la viga a la tapa que sería experimentada por la estructura del prototipo.

2.4.4.4. Resultados de las pruebas de la Fase I. Cuando se sometió la unidad de ensayo a carga sísmica vertical y horizontal de una manera cíclica, la carga en la Fase I reveló un excelente rendimiento para las conexiones ya construidas, para las conexiones mejoradas y para el sistema global. Las rótulas plásticas se desarrollaron con éxito en los extremos superior e inferior de la columna. La estructura de ensayo consiguió una ductilidad de desplazamiento de +10, que corresponde a 178 mm de desplazamiento horizontal total, en cuyo punto se observó el pandeo del refuerzo longitudinal de la columna y el fallo de confinamiento en las regiones de rotulación plástica. Tanto las conexiones mejoradas como las ya construidas entre las vigas I prefabricadas y el vástago de tapa viga T invertida se comportaron como conexiones fijas y no mostraron signos significativos de degradación. La inspección visual reveló una degradación menor de lo esperado de la conexión positiva como construida y casi ningún daño a la conexión mejorada. Como se ve en la Figura 16.



a) Columna sometida a 180mm de desplazamiento



b) Descascaramiento en la zona de rótula plástica superior



c) Agrietamiento transversal a lo ancho del tablero

Figura 16 *Resultados de las pruebas en la unidad de ensayo (Fase I)*¹⁶

El análisis de los datos después de la prueba confirmó una ligera diferencia en el comportamiento de la conexión construida en comparación con la conexión mejorada. El agrietamiento del tablero que resultó de la prueba de Fase I consistió casi exclusivamente en grietas transversales que se extendían por todo el ancho del tablero. Las grietas estaban más estrechamente espaciadas cerca de la viga T invertida, con el espaciamiento cada vez más lejos. Esta extensión del agrietamiento por flexión indicó que todas las vigas estaban acopladas a resistir la carga sísmica horizontal.

¹⁶Fuente: (Theimann, 2009).

Una comparación de los datos críticos recogidos durante la prueba con las predicciones realizadas antes de la prueba basada en un análisis en SAP2000 mostró resultados confiables (Snyder, 2010). La fuerza horizontal vs. El desplazamiento lateral de la superestructura se muestra en la Figura 17, que muestra un ligero desacuerdo a pequeños desplazamientos, ya que el modelo de parrilla utilizó una rigidez agrietada efectiva para las secciones de columna y superestructura, libre de la prueba. Sin embargo, los resultados analíticos y experimentales comenzaron a converger progresivamente con el aumento del desplazamiento lateral a medida que más de la estructura comenzó a suavizarse debido al desarrollo de grietas y rendimientos de refuerzo longitudinal. Además, se observa que el comportamiento de desplazamiento de fuerza en la Figura 17, es bastante similar en las dos direcciones de desplazamiento, lo que indica que tanto las conexiones construidas como las mejoradas se comportaron de manera similar, en términos de su contribución al comportamiento general del sistema, cuando se exponen a la horizontal pruebas de carga sísmica en la Fase I.

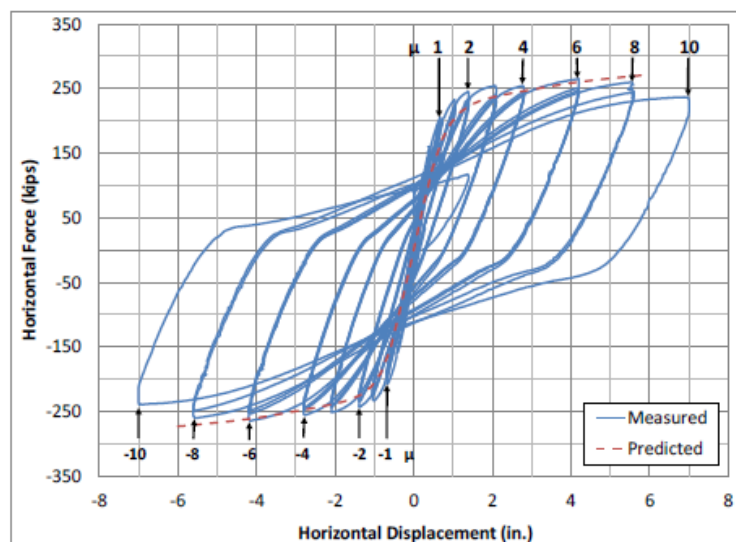


Figura 17 *Fuerza horizontal vs. Desplazamiento lateral de la superestructura*¹⁷

¹⁷Fuente: (Theimann, 2009).

La unidad de prueba como un sistema se comportó bien, ya que las conexiones presentaron excelente comportamiento sísmico. Las conexiones de viga tapa construidas se comportaron como una conexión fija en lugar de una conexión fija, contrariamente a las suposiciones actuales (SDC 2006) con respecto a las conexiones de vigas prefabricadas en forma de T invertida.

2.4.4.5. Resultados de las pruebas de la Fase II. Después de la prueba de Fase I, la configuración de carga para la unidad de prueba se reconfiguró retirando los tirantes verticales y actuadores horizontales y reinstalando los actuadores en una configuración vertical más cercana al tramo medio de las vigas a cada lado de la columna, como se muestra en la Figura 18. Esta configuración ofrecía la oportunidad de desplazar los extremos de la viga verticalmente mientras se conservaba la configuración fija de la columna. La carga inicial para la Fase II consistió en usar los actuadores verticales para aplicar una fuerza de retención a la unidad de prueba que simula el momento en la interfaz de la viga a la tapa al final de la construcción. Las pruebas primarias para la Fase II siguieron, donde los extremos de la viga en ambos lados fueron sometidos simultáneamente a desplazamientos cíclicos positivos y negativos a magnitudes que aumentaban gradualmente.

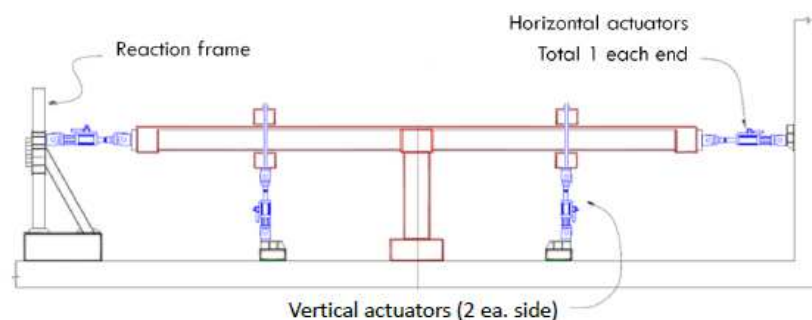


Figura 18 Actuadores verticales Fase II.¹⁸

¹⁸ Fuente: (Theimann, 2009).

El objetivo de la prueba de Fase II era someter a cargas cíclicas las conexiones para investigar completamente su rendimiento. El enfoque se centró en examinar la máxima capacidad a momento de cada tipo de conexión tanto como sea posible para determinar la validez del enfoque de diseño actual (SDC 2006). La estructura de ensayo se sometió a un desplazamiento positivo máximo (76 mm) y un desplazamiento negativo máximo (152 mm). Tanto las respuestas positivas como negativas coincidieron o superaron las expectativas. De hecho, el diagrama de fuerza frente a desplazamiento indicó que la estructura todavía tenía capacidad de momento negativo adicional cuando se terminó el ensayo, ya que no se registró una caída significativa de la resistencia.

2.4.4.6. Conclusiones.

Esta investigación experimental se llevó a cabo para examinar el rendimiento de una conexión de columna, viga T invertida y vigas en I de hormigón prefabricado. Las siguientes conclusiones han resultado de este estudio:

- Contrariamente a las prácticas de diseño actuales, la conexión de la viga T invertida a la viga en forma de I prefabricada se construyó como una conexión totalmente continua en lugar de una conexión simple.
- La mejora de la conexión de la tapa a la viga se realizó como se esperaba, garantizando un comportamiento completamente continuo tanto en momentos positivos como negativos.
- Tanto las conexiones ya construidas como las mejoradas transfirieron exitosamente las fuerzas de corte de la superestructura a la viga cabezal durante ambas fases de prueba.
- El detalle de la tapa del muelle invertido puede utilizarse en un diseño de conexión integral para desarrollar una bisagra de plástico en la parte superior de la columna. Por lo tanto, la tapa de muelle invertida es una excelente manera de implementar vigas de hormigón

prefabricadas en regiones sísmicas y promover la construcción de puentes acelerados en estas regiones.

- La conexión mejorada de la viga T invertida es suficiente para alcanzar los objetivos de diseño previstos en una conexión integral. Sin embargo, la cuantificación completa de la conexión mejorada de tapa a viga no se logró debido a la degradación de la conexión como se construyó. Se planea un trabajo adicional para completar esta parte de la investigación

3. Plan de implementación (cap) en usa

En abril de 2004, once ingenieros estadounidenses, patrocinados por Federal Highway Administration FHWA y AASHTO; realizaron una gira por Japón y Holanda, Bélgica, Alemania y Francia con el propósito de investigar y documentar las aplicaciones y experiencias con elementos y sistemas de puente prefabricados en Japón y Europa.

El objetivo principal del equipo de análisis fue: Identificar las tecnologías más significativas para su implementación en los Estados Unidos. El equipo se enfocó en elementos y sistemas de puentes prefabricados que fueran útiles para:

- Minimizar la interrupción del tráfico (congestión).
- Mejorar la seguridad de la zona de trabajo.
- Minimizar el impacto ambiental.
- Mejorar el proceso constructivo.
- Aumentar la calidad.
- Reducción de los costes del ciclo de vida.

El equipo de exploración identificó 10 ítems para su implementación en los Estados Unidos. Para cada uno de los diez ítems de implementación se designa un "líder del equipo de análisis". Estos líderes son los responsables de promover la tecnología en particular durante la fase de implementación. Deben servir como el primer contacto ente el departamento de transporte de Estados Unidos (U.S. DOT) y los ingenieros consultores con respecto a las preguntas sobre la tecnología, también serán los encargados de comunicarse con los otros países y obtener informes de pruebas, especificaciones y otra información según sea necesario para facilitar la implementación.

Las tecnologías se clasifican como se muestra en la Tabla 2 en cuatro secciones que son: sistemas de movimiento de puentes, sistemas de superestructura, sistemas de cubierta y sistema de subestructura.

Sección	Ítem
Sistemas de movimiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Self-propelled modular transporter (SPMT) ▪ Otros sistemas de instalación de puentes
sistemas de superestructura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poutre Dalle o sistema invertido de viga T ▪ Cubiertas de hormigón de profundidad parcial ▪ Segmentos en forma de U con nervaduras transversales o puntales
sistemas de cubierta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cubiertas en concreto prefabricadas de la profundidad completa ▪ Detalles de cierre de junta de cubierta ▪ Híbrido Acero-Concreto Decks
Sistema de Subestructura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema SPER

Tabla 2 *Ítems implementados en la excursión¹⁹*

¹⁹ Fuente: (FHA, Office of International Programs, 2014).

3.1. Sistemas de movimiento de puentes

3.1.1. Self-propelled modular transporter (SPMT). En la Figura 19 se muestra el medio de transporte (SPMT) utilizado para trasladar la subestructura del puente Maryland Ave desde el sitio de fabricación hasta su ubicación final.



Figura 19 *Subestructura del puente Maryland Ave sobre self-propelled modular transporter²⁰*

3.1.1.1. Equipo de escaneo. El equipo de escaneo estaba conformado por Mary Lou Ralls, Harry Alcaparras y Ben Tang.

²⁰ Fuente: Minnesota Department of Transportation. Recuperado de: <http://www.dot.state.mn.us/designbuild/projects.html>

3.1.1.2. Antecedentes. El equipo de trabajo visitó las empresas Mammoet y Sarens en los Países Bajos y Bélgica, respectivamente. Ambas empresas se especializan en el levantamiento de elementos pesados y prestan servicios a los clientes en las industrias de petróleo, energía y construcción pesada civil. Numerosos proyectos europeos fueron presentados por las dos firmas que mostraron la versatilidad de self-propelled modular transporter (SPMT) vehículo de plataforma con varias ruedas para levantar, transportar, girar y fijar o quitar puentes.

El equipo de trabajo quedó impresionado por la oportunidad que esta tecnología ofrece para minimizar las interrupciones del tráfico, mejorar la seguridad en las zonas de trabajo y mejorar el proceso constructivo. La tecnología está siendo empleada frecuentemente por compañías de carreteras y ferrocarriles para reducir los impactos de la construcción a las instalaciones de operación a días u horas en lugar de los varios meses requeridos por los métodos tradicionales. Con SPMT el enfoque común es construir la superestructura o el puente total fuera de la ruta sin interrumpir el tráfico. Una vez terminadas, los SPMT transportan la estructura en posición con una interrupción del tráfico que varía de varias horas a un fin de semana, es indispensable la preparación del sitio de trabajo.

3.1.1.3. Estrategia.

- La Implementación del Equipo de trabajo consistió en lo siguiente:
- Presentar la tecnología SPMT en las reuniones y conferencias de la AASHTO, artículos y documentos a LTAP y varias revistas de comercio e ingeniería.

- Desarrollar una Guía de Planificación de Proyectos para los proyectistas, incluyendo criterios de selección de proyectos para el uso de SPMT y enfatizando la necesidad de una planificación temprana del proyecto.
- Incluir información - descripciones, fotos, esquemas, planos y especificaciones sobre la variedad de proyectos de puentes observados por el equipo de escaneado en el sitio web prefabricado de FHWA.

3.1.1.4. *Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:*

- Varias presentaciones, artículos y ponencias.
- Guía de planificación de proyectos y especificaciones preliminares para calificaciones de contratistas, tolerancias de elevación y distorsión.
- Descripciones, fotos, dibujos y especificaciones publicados o enlazados desde el sitio web de FHWA, para mostrar la variedad de proyectos y métodos empleados para instalar puentes construidos fuera de la alineación.
- Proyectos de candidatos solicitados a través de fondos federales del programa.
- Talleres para mostrar los proyectos de demostración.

3.1.2. Otros sistemas de instalación de puentes

3.1.2.1. *Equipo de escaneo.* El equipo de escaneo estaba conformado por Ben Tang y Barry Brecto.

3.1.2.2. Antecedentes. El equipo de exploración recorrió sitios de construcción y / o recibió presentaciones sobre proyectos que involucraban una variedad de métodos innovadores de instalación de puentes (lanzamiento, flotante, elevación o rotación, el sistema prefabricado en posición). Japón, Alemania y Francia utilizaron varios sistemas de instalación para minimizar el impacto en el tráfico existente en las carreteras o ferrocarriles, minimizar los impactos ambientales o mejorar la seguridad en las zonas de trabajo. Entre los proyectos estudiados se incluyen:

- Japón: Autopista Aritas Ruta 23 / Isewangan - Lanzamiento longitudinal de una superestructura de dos vigas cajones de acero con cubierta ortotrópica. La velocidad de lanzamiento fue de 12 horas por tramo de 130 metros. La longitud total fue de 724 metros con un peso de 12.000 toneladas.
- Japón: Autopista Aritas Ruta 23 - Lanzamiento transversal de una superestructura de acero de dos tramos, de cuatro vigas. El lanzamiento lateral fue de 52 metros y la cubierta ortotrópica se adjuntó.
- Francia: Viaducto del Río Risle - Lanzamiento longitudinal, y de ambos pilares, superestructura de viga de doble chapa de acero de curvas múltiples.
- Francia: Proyecto St. Pierre du Vauvray - Construir un muelle seco, fabricar el puente, inundar el muelle seco y luego flotar el marco de un tramo de 855 toneladas hasta su posición final.
- Francia: Puente RR PRA 3265 en Normandy - Deslizamiento de cuatro vanos de hormigón armado, 3300 toneladas en sitio usando gatos.

- Francia: Viaducto de Ventabren - Construir una viga cajón segmentada en voladizo balanceada paralela al tráfico existente y luego girar la superestructura de 2400 toneladas hasta la posición final.

El equipo de trabajo quedó impresionado por la variedad de métodos empleados. Particularmente en el enfoque filosófico de la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF) en español Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses, por sus corredores de gran volumen. SNCF declaró que su método preferido de construcción de puentes es construir la alineación y mover la estructura en su posición con sólo una interrupción de 2- a 3 días de servicio. El lanzamiento, flotación o rotación se utilizaría dependiendo de los requisitos del sitio.

Se ha hecho una cantidad limitada de lanzamiento transversal y longitudinal en los Estados Unidos. Pocas vigas han sido colocadas en posición. En Europa y Japón estos métodos son más comunes y aceptados por los diseñadores de puentes y contratistas. El equipo de trabajo cree que la variedad de métodos que observaron se pueden aplicar con más frecuencia en los Estados Unidos para minimizar las interrupciones del tráfico y los impactos ambientales, mejorar la seguridad de la zona de trabajo y mejorar la constructibilidad.

3.1.2.3. Estrategia. La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Presentar los diferentes métodos de instalación en las reuniones y conferencias de AASHTO (incluyendo SCOH y sus subcomités y DOT estatales), AGC, ARTBA y TRB programadas en 2004 y 2005.
- Presentar artículos y documentos a LTAP y revistas de comercio e ingeniería.
- Solicitar proyectos piloto para 2005/2006. y realizar talleres en asociación con los proyectos. Invitar a los Estados de AASHTO y FHWA a asistir.

- Incluir información sobre la variedad de proyectos de puentes observados por el equipo de exploración en el sitio web de FHWA. Esto servirá como un recurso para unir a los diseñadores y un estímulo para considerar creativamente alternativas a la construcción convencional.

3.1.2.4. Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:

- Presentaciones, artículos y ponencias.
- Actualizar el sitio web del FHWA para mostrar la variedad de proyectos y métodos empleados para instalar puentes construidos fuera de la alineación.
- Talleres para mostrar los proyectos de referencia.

3.2. Sistemas de superestructura

3.2.1. Poutre Dalle o sistema de T invertida. En la Figura 20 se muestra el elemento principal del sistema francés Poutre Dalle Beam como sigue: a) la sección transversal y b) perspectiva longitudinal.

a) Sección Transversal



b) perspectiva longitudinal



Figura 20 Poutre Dalle Beam²¹

3.2.1.1. Equipo de escaneo. El equipo de escaneo estaba conformado por Dan Dorgan, Eugene Calvert y Shri Bhide.

3.2.1.2. Antecedentes. Un método para eliminar el encofrado y la superficie de trabajo utilizado en Francia es el sistema Poutre Dalle. En este sistema, las vigas en T invertidas se colocan adyacentes entre sí. Varios ejemplos de este sistema se presentaron al equipo de escaneo. El sistema con relaciones de profundidad de 28 a 30 se utiliza comúnmente para vanos de 6 a 25 m, pero puede ser extendido a vanos de hasta 32 m. Se ha utilizado un sistema similar de viga T invertida en algunos puentes en los EE.UU. Sin embargo, el equipo de escaneo cree que el Poutre Dalle ofrece un sistema más rápido, versátil y duradero. Las vigas en T para un puente Poutre Dalle se puede construir en un día. El sistema está certificado por SETRA y SNCF para puentes ferroviarios.

3.2.1.3. Estrategia..La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Obtener ejemplos gráficos, especificaciones y fotos de los detalles de puentes terminados para la fijación o la conexión del puente prefabricado FHWA.
- Realizar investigaciones y referencias bibliográficas, según sea necesario, para validar y mejorar detalles de conexión estándar.
- Realizar pruebas estáticas y de fatiga de la barra en bucle detalles conjuntos para los elementos de implementación, detalle de cierre de junta de cubierta, Poutre Dalle Sistema de la viga de T invertida, y cubiertas prefabricadas de profundidad completa. Una sola investigación Esfuerzo.

²¹ Fuente: U.S. Department of Transportation/Federal Highway Administration (2017)

- Solicitar a los Estados que construyan proyectos piloto.
- Presentar el sistema en las conferencias nacionales para los Subcomités AASHTO y conferencias de puentes programadas en 2004 y 2005. Esto formará parte de la información presentada en el recorrido de escaneo de puentes prefabricados.

3.2.1.4. *Entregables.* Los entregables consistían en lo siguiente:

- Publicación de información sobre los proyectos de puentes construidos con el sistema Poutre Dalle en el sitio web del FHWA., proyecto de demostración y talleres para 2005 o 2006.

3.2.2. Cubiertas de hormigón prefabricado de profundidad parcial

3.2.2.1. *Equipo de escaneo.* El equipo de escaneo estaba conformado por Dan Dorgan, Eugene Calvert y Bill McEleney.

3.2.2.2. *Antecedentes.* Según las directrices federales de fecha 23 de julio de 1993, en Alemania los componentes prefabricados pueden utilizarse esencialmente sólo para puentes con 35 m, con inclinaciones menores de 30 grados y con radios de curvatura mayores de 500 m. Las cubiertas de concreto de profundidad parcial prefabricadas sobre puentes de acero o hormigón son los dos sistemas de puentes prefabricados más utilizados en Alemania. El equipo vio varios ejemplos de puentes terminados o en construcción usando alguno de los dos sistemas.

El puente BW 20 en la autopista A8 West es un puente construido con vigas de acero, de un solo vano de 46,5 m de longitud y un ancho de 10 m, con 4 vigas de acero espaciadas a 2,45 m. Las vigas fueron tapadas con un ancho de 2,45 m, 10 cm de hormigón armado en el taller y luego se

transportaron a campo. La cubierta de hormigón de 22,5 cm de espesor se colocó sobre la profundidad parcial de concreto que sirvió como cubierta.

La ruta federal B44 sobre BAB3 cerca de Francfort es un paso elevado típico de la autopista de dos tramos en construcción. El puente tiene 23,5 m de ancho y está en una inclinación de 37 grados.

La superestructura consta de 5 vigas en T pretensadas de hormigón pretensado. Las cinco vigas T cuando se colocan lateralmente, proporcionan una cubierta de forma instantánea para colocar 23 cm de concreto de espesor colado en el lugar. Cada viga en T requiere sólo unos 10 minutos para el vaciado.

3.2.2.3. *Estrategia.* La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Obtener muestras de dibujos, fotos de la construcción y proyectos de puentes terminados para ser publicados en el FHWA Sitio web del puente prefabricado. Esta información será un recurso para el puente Diseñadores.
- Presentar el sistema en las conferencias nacionales para los Subcomités AASHTO y conferencias de puentes programadas en 2004 y 2005. Esto formará parte de la información presentada en el recorrido de escaneo de puente prefabricado.
- Buscar dos proyectos de demostración (viga de acero y hormigón) para 2005/2006.

3.2.2.4. *Entregables.* Los entregables consistían en lo siguiente:

- Información sobre proyectos de puentes construidos con hormigón prefabricado de profundidad parcial Cubiertas publicadas en o enlazadas desde el sitio web de FHWA.

3.2.3. Segmentos de sección U con nervaduras transversales o puntales

En la Figura 21 se muestra el montaje de algunos segmentos de una viga del Viaducto de Furukawa.



Figura 21 *Montaje de segmentos de una viga del Viaducto Furukawa*²²

3.2.3.1. *Equipo de escaneo.* El equipo de escaneo estaba conformado por William Nickas y Shri Bhide.

²²Fuente: Recuperado de:
http://bridgeworld.net/zboard/zboard.php?id=japan&page=1&sn1=&divpage=1&sn=off&ss=on&sc=on&select_arrange=headnum&desc=asc&no=40

3.2.3.2. Antecedentes. El equipo de escaneo apreció el Viaducto de Furukawa en el cual usaron segmentos de elementos con sección transversal en forma de U con nervaduras o puntales transversales, además recibió una presentación sobre el proyecto. Dado que los segmentos tenían que ser transportados por la vía pública, el peso y tamaño eran limitados debido a la carga legal máxima de 30 toneladas, al ancho de la vía y restricciones de tráfico de altura. La clave del proyecto fue seleccionar la sección más efectiva para reducir el peso. El segmento en forma de U permitía reducir el peso y por lo tanto lograr segmentos más largos y menor número de ellos. Los segmentos se construyeron utilizando el método vano a vano con una longitud de tramo de 34 a 45 m. Otras innovaciones incorporadas en los segmentos en forma de U fueron:

- El uso de hormigón de alta resistencia con mayor durabilidad.
- La adopción de tendones externos de pretensado que permitieron una mayor reducción del peso de los segmentos. Además, los tendones externos permiten un fácil mantenimiento y fácil reemplazo.
- Se realizó un análisis de detalle con FEM tridimensional para cada fase de construcción

3.2.3.3. Estrategia. La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Obtener ejemplos de dibujos, fotos de construcción y puente terminado Proyectos para su publicación en el Sitio web de la FHWA. Esta Información será un recurso para los diseñadores.
- Presentar el sistema a nivel nacional en las conferencias programadas en 2004 y 2005. Esto formará parte de la información presentada en el informe Viaje de exploración de puentes prefabricados.

- Difundir la información disponible sobre el sistema en el American Segmental Bridge Institute.

3.2.3.4. Entregables.

Los entregables consistían en lo siguiente:

- Publicar la Información sobre los segmentos en forma de U en el sitio web del FHWA.

3.3. Sistemas de cubierta

3.3.1. Cubiertas en concreto prefabricadas de la profundidad completa.

En la Figura 22 se muestra la instalación de algunos de un tablero de concreto prefabricado de profundidad completa.



Figura 22 *Instalación de tablero o cubierta de profundidad completa*²³

3.3.1.1. Equipo de escaneo. El equipo de escaneo estaba conformado por Shri Bhide, Ben Tang y Eric Matsumoto.

²³ Fuente: PCI Northeas_Bridge_Technical Committee, 2014

3.3.1.2. Antecedentes. Uno de los tres sistemas de cubierta utilizados para las rampas del Nagoya-Minami Intercambiador en la Ruta 23 es de las cubiertas de hormigón prefabricado de profundidad completa. Reducir la interrupción al tráfico en la ruta 23 a un mínimo era de vital importancia por lo que las rampas tuvieron que ser construidas muy rápidamente. En el intercambiador de la Ruta 23, la cubierta se construyó con paneles en la parte superior de las vigas cajón de acero. Sin embargo, también pueden usarse con vigas de hormigón pretensado. Aunque se han utilizado sistemas similares en Estados Unidos, el sistema utilizado en Japón ha demostrado ser de bajo mantenimiento y duradero. Una razón del éxito puede ser el hecho de que todas las cubiertas de puente en Japón cuentan con un sistema de protección contra corrosión de múltiples niveles. Los paneles son típicamente de ancho completo, pretensado y 270 mm de espesor. Se suministran dos capas de lechada por línea de viga por cada panel para la conexión de vigas de acero

3.3.1.3. Estrategia. La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- La implementación del equipo de escaneo consiste en lo siguiente:
- Obtener bases de diseño, informes de pruebas, detalles y especificaciones tanto para la colocación del acero como para vigas de hormigón y enlace desde el sitio web de FHWA junto con fotos de detalles de construcción y puentes terminados.
- Realizar investigaciones y referencias bibliográficas, según sea necesario, para validar y mejorar detalles de conexión estándar.
- Solicitar a las localidades que construyan proyectos piloto.
- Coordinar el proyecto NCHRP 12-65, " Práctica recomendada para paneles de cubierta prefabricados de profundidad total".

- Coordinar con el Comité del PCI el desarrollo del proyecto NCHRP 12-69, Práctica recomendada para paneles de cubierta prefabricados de profundidad total. (Joe Rose / Claude Napier).

3.3.1.4. Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:

- Dibujos, fotos y especificaciones de guía publicados o enlazados desde el sitio web de FHWA.
- Proyectos de candidatos solicitados a través de programas federales de financiamiento.

3.3.2. Detalles de cierre de junta de cubierta. En la Figura 23 se muestra la configuración del acerto y algunos detalles de la junta de cubierta del Viaducto Anjo de Japón.

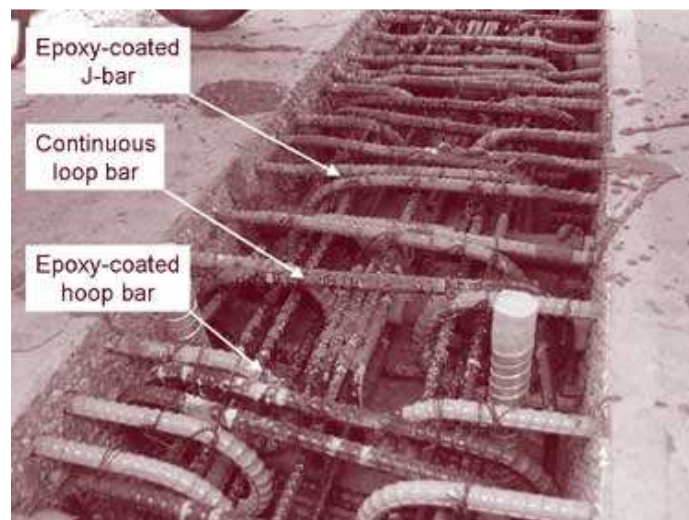


Figura 23 *Detalle de junta de cubierta*²⁴

²⁴ Fuente: (FHA, Office of International Programs, 2014). Recuperado de: https://international.fhwa.dot.gov/prefab_bridges/chapter_two_a.cfm#fig15

3.3.2.1. *Equipo de escaneo.* El equipo de escaneo estaba conformado por Shri Bhide, Ben Tang y Eric Matsumoto.

3.3.2.2. *Antecedentes.* El equipo de trabajo observo que durante la construcción del Viaducto Anjo, de la nueva autopista Tomei se utilizó juntas transversales de ajuste en la losa superior entre los segmentos adyacentes en las zonas de apoyo de las vigas de cajón y recibió presentaciones sobre el proyecto del Viaducto de Kamikazue en el cual se utilizaron segmentos más pequeños para reducir el peso. Se adoptó un detalle de doble refuerzo para las juntas transversales de ajuste considerando los errores en la fabricación y el proceso constructivo al unir los segmentos. Se utilizaron aditivos expansivos hormigón reforzados con fibra de acero inoxidable y de vinylon para las juntas de ajuste transversal y la placa de conexión longitudinal entre cada viga.

Los sistemas de cubierta prefabricados requieren que se proporcionen juntas longitudinales y transversales para hacer la cubierta continua para la distribución de carga viva. Esto se logra utilizando detalles de refuerzo especiales en las juntas. Se deben desarrollar varios detalles de las juntas observados durante el recorrido para su uso en los Estados Unidos para facilitar el uso de sistemas prefabricados de cubierta de profundidad completa, juntas longitudinales entre cajas adyacentes y juntas de ajuste transversales mejoradas y son aplicables tanto a áreas sísmicas como no sísmicas.

3.3.2.3. Estrategia. La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Obtener bases de diseño, informes de pruebas, esquemas de muestra y especificaciones junto con fotos del sistema y sistemas similares para publicar y vincular en el sitio web de FHWA Prefabricated Bridge.
- Recopilar información y realizar investigaciones, según sea necesario, para validar y mejorar los detalles de conexión estándar. Realice pruebas estáticas y de fatiga de los detalles de la articulación de la barra en lazo para el detalle del cierre de la junta de cubierta, el sistema de viga en T invertida y las cubiertas prefabricadas de profundidad completa. Se recomienda un único esfuerzo de investigación para las cubiertas prefabricadas de profundidad total, el sistema de espesor de losas de vigas en T invertidas y los sistemas de vertido de juntas de cubierta.
- Solicitar a las localidades que construyan proyectos piloto.
- Coordinar el proyecto NCHRP 12-65, " Práctica recomendada para paneles de cubierta prefabricados de profundidad total".
- Coordinar con el Comité del PCI el desarrollo del proyecto NCHRP 12-69, Práctica recomendada para paneles de cubierta prefabricados de profundidad total. (Joe Rose / Claude Napier).

3.3.2.4. Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:

- Publicar esquemas, fotos y especificaciones en la web de la FHWA.
- La declaración del problema de investigación según sea necesario.
- Proyectos de candidatos solicitados a través de programas federales de financiamiento.
- Taller de demostración.

3.3.3. Sistema de cubierta compuesto Acero-Concreto

En la Figura 24 se muestra la configuración del acero de un sistema de cubierta compuesta Acero-Concreto, la cual se encuentra a la espera del vaciado del concreto.

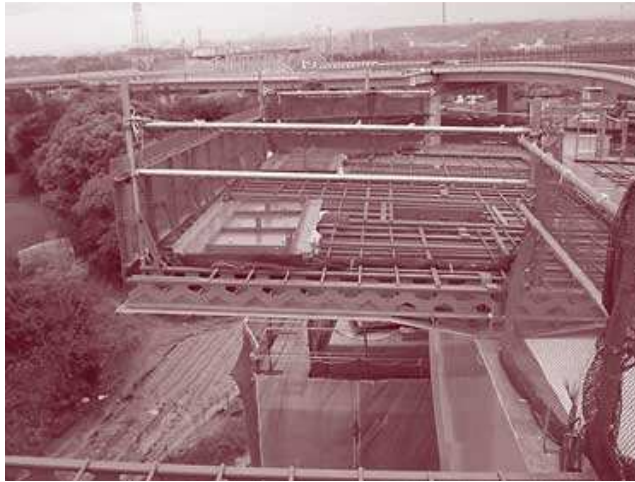


Figura 24 *Detalle de junta de cubierta*²⁵

3.3.3.1. Antecedentes. El equipo de escaneo mostró un tablero compuesto de acero y hormigón en la excursión a la nueva autopista Tomei. El contratista estaba utilizando un sistema prefabricado que sirvió como formaleta y contenía el resto del tablero prefabricado. El sistema fue desarrollado por Kawasaki Heavy Industries para este proyecto tiempo después otras empresas japonesas desarrollaron sistemas similares.

El sistema consistió en una lámina de acero inferior más una malla de barras de refuerzo y pequeñas vigas de soporte. El sistema se extendía entre vigas y voladizos para el saliente de la

²⁵ Fuente: (FHA, Office of International Programs. 2014). Recuperado de: https://international.fhwa.dot.gov/prefab_bridges/chapter_two_a.cfm#fig15

Equipo de escaneo. El equipo de escaneo estaba conformado por Bill McEleney, Ben Tang y Harry Capers

losa. Este sistema evitó al contratista la necesidad de izaje sobre el tráfico. Los conectores de corte se soldaron a la viga para garantizar una sección compuesta.

3.3.3.2. *Estrategia.* La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Obtención de planos y especificaciones, registro fotográfico sobre este sistema y sistemas similares para la vinculación en el sitio web de FHWA.
- Evaluar los detalles para su uso en los Estados Unidos y compartir los resultados en todo su territorio.
- Coordinar con National Steel Bridge Alliance (NSBA) para contactar posibles proveedores.
- Solicitar a los proveedores que desarrollen o mejoren los detalles y elaborar proyectos

3.3.3.3. *Entregables.* Los entregables consistían en lo siguiente:

- Publicar esquemas, fotos y especificaciones en la web de la FHWA.
- Proyectos piloto solicitados a través de programas federales.

3.3.4. Sistemas de protección contra la corrosión a varios niveles

3.3.4.1. *Equipo de escaneo.* El equipo de escaneo estaba conformado por Claude Napier.

3.3.4.2. Antecedentes. En Japón, Alemania y Francia, las cubiertas de puente de hormigón están cubiertas con un sistema de protección contra la corrosión de múltiples niveles para evitar la entrada de agua y productos químicos de deshielo. Los sistemas generalmente implican proporcionar una cubierta de concreto adecuada al refuerzo, un sellador de concreto, una membrana impermeable y dos capas de asfalto. Este tipo de sistema de protección contra la corrosión puede ser beneficioso con los sistemas prefabricados como un medio para proteger las regiones de las juntas de posibles daños por corrosión, garantizando así una vida útil más larga.

Los alemanes y los japoneses habían utilizado una membrana impermeable con una fina capa de asfalto en el pasado, pero sentían que el sistema no proporcionaba la protección necesaria. Adicionalmente, la membrana impermeable fue dañada cuando la superficie de asfalto deteriorada fue molida y reemplazada por una nueva capa de asfalto. El antiguo sistema de recubrimiento de asfalto debía ser reemplazado aproximadamente cada 10 años. Debido a los malos resultados del antiguo sistema, Alemania desarrolló un sistema de protección contra la corrosión de múltiples niveles que ha venido utilizando desde mediados de los años ochenta y cree que les proporcionará una vida útil de 100 años. El mismo sistema fue adoptado en Japón. La sección típica de la cubierta alemana incluye superficie de asfalto de 35-40 mm, capa protectora de asfalto de 35-40 mm, sello de tela bituminosa de 4,5-8,0 mm, imprimación epoxi y cubierta de hormigón fundido. Normalmente, se muele 30 mm cuando se reemplaza la superficie de desgaste del asfalto. Se mostró al equipo de escáner un modelo de cubierta en el lugar. Este modelo utilizó un revestimiento de epoxi sobre la cubierta de hormigón fundido, material de lámina bituminosa soldada a la cubierta de hormigón (2 mm de espesor), lámina de acero inoxidable alternativa aplicada sobre la lámina bituminosa y 2 capas (8 cm) de asfalto denso. Los japoneses han estado

utilizando una mezcla de asfalto de 40 mm de grado abierto sobre una mezcla de asfalto denso de 35 mm (algunos casos 40 mm) sobre una membrana de 2 a 3 mm

3.3.4.3. Estrategia. La Implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Comparar el sistema alemán con lo que actualmente está siendo usado por los estados del noreste.
- Presentar el sistema en las conferencias nacionales para los Subcomités AASHTO y conferencias de puentes programadas en 2004 y 2005. Esto formará parte de la Información presentada en el recorrido de escaneo de puente prefabricado.
- Buscar proyectos de demostración para 2005/2006

3.3.4.4. Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:

- Recomendaciones sobre la utilización del sistema.
- Publicar la traducción de las especificaciones alemanas y detalles en el sitio web de la FHWA.
- Aplicar el sistema de protección a un proyecto real.

3.4. Sistema de la Subestructura

3.4.1. Sistema SPER. En la Figura 25 se muestra una foto del sistema SPER.

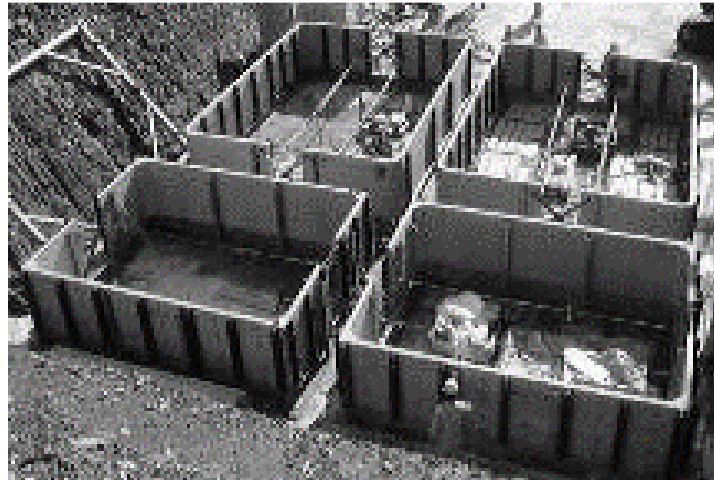


Figura 25 Sistema SPER²⁶

3.4.1.1. Equipo de escaneo. El equipo de escaneo estaba conformado por Barry Brecto, Eric Matsumoto y Claude Napier.

3.4.1.2. Antecedentes. El equipo de excursión recibió una presentación impartida por Sumitomo Corporation, sobre un el método SPER (Sumitomo Precast form for resisting Earthquakes and for Rapid construction) en español construcción acelerada de elementos prefabricados encargados de resistir sismo. El método SPER fue utilizado en el puente de Otomigawa en el proyecto vial de Tanba Ayabe, ciudad de Ayabe, Kyoto. El pórtico continuo de hormigón pretensado de 4 vanos (330 m) los elementos alcanzaban una altura desde 32.5 m a 51.1 m.

El sistema SPER reduce las necesidades de mano de obra del proyecto mediante elementos prefabricados de espesor considerable con refuerzo lateral incrustado en la planta prefabricada y luego ensambla los lazos transversales a los elementos. El conjunto de elementos prefabricados se

²⁶ Fuente: (FHA, Office of International Programs. 2014). Recuperado de: https://international.fhwa.dot.gov/prefab_bridges/chapter_two_a.cfm#fig15

transporta hasta el sitio del proyecto. La secuencia de la construcción es izar los elementos prefabricados internos, fijar el interior, izar el elemento prefabricado externo, fijar la forma prefabricada externa y luego colocar el hormigón en los elementos. Los japoneses han estimado que el uso del sistema SPER acortará la construcción al 60% - 70% del tiempo requerido con el uso de un sistema constructivo convencional en sitio.

El sistema SPER es un método de construcción acelerada de elementos utilizando hormigón prefabricado como elementos estructurales y encofrados para el hormigón fundido en obra. Los pilares huecos utilizan paneles para el encofrado interior y exterior, mientras que los pilares sólidos más cortos utilizan paneles para el encofrado exterior solamente.

3.4.1.3. Estrategia. La implementación del equipo de trabajo consistió en lo siguiente:

- Obtener muestras de dibujos, fotos de la construcción y proyectos de puentes terminados para su publicación en el sitio web de FHWA Prefabricated Bridge. Esta información será un recurso para los diseñadores de puentes.
- Presentar el sistema en conferencias nacionales de la AASHTO y subcomités.
- Presentar el sistema como tema de investigación ante el Innovative Bridge Research and Deployment (IBRD) y Realizar talleres para DOT, contratistas y consultores de FHWA.

3.4.1.4. Entregables. Los entregables consistían en lo siguiente:

- Publicar la información del sistema SPER en sitio web de la FHWA.
- Proyecto de demostración.

4. Conclusiones

- La Construcción Acelerada de Puentes es un sistema de construcción que reduce el tiempo del proyecto tanto en la etapa de preliminar como en la etapa de ejecución del proyecto lo que evita el cierre de las rutas durante largos periodos y el impacto negativo en los usuarios de la vía.
- La construcción de puentes de concreto prefabricado son un medio económico y efectivo para la construcción rápida de puentes que debe ser implementado en las zonas urbanas del territorio colombiano para mitigar problemas de movilidad y reducir el tiempo de ejecución de las obras de infraestructura.
- La implementación de la construcción acelerada en Colombia presenta grandes dificultades debido al poco conocimiento sobre el tema por parte de los ingenieros diseñadores y constructores nacionales de puentes, la carencia de empresas de elementos prefabricados certificados, vías y vehículos especializados para transportar dichos elementos.
- Los entes encargados del desarrollo vial de Colombia junto con las universidades deben realizar jornadas regionales, nacionales e internacionales de capacitación e incentivar la investigación en cuanto a la Construcción Acelerada de Puentes, ya que en el país no existen referencias bibliográficas sobre el tema ni personal altamente capacitado.

- La construcción acelerada de puentes en regiones sísmicas se encuentra en etapa de investigación a nivel mundial, en los próximos años serán presentadas nuevas alternativas que están siendo adelantadas

5. Referencias bibliográficas

- Federal Highway Administration. (2011). *Accelerated Bridge Construction, Experience in Design, Fabrication and Erection of Prefabricated Bridge Elements and Systems, Final Manual*. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/abc/docs/abcmanual.pdf>
- Badie, S. Tadros, M. & Miller, R. (2009). FULL-DePth, Precast Concrete Bridge Deck Panel Systems: Recommended guidelines will aid design engineers. *Concrete International*, 53-58. Recuperado de: http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Reparacion%20de%20Estructuras/C7449i-dc_0904_badie_full-depth0001.pdf
- Biswas, M. (1986). Precast Bridge Deck Design Systems. *PCI Journal Paper*, 31(2), 40-94.
- Caltrans. (2015). *Bridge Design Aids*. Recuperado: <http://www.dot.ca.gov/des/techpubs/bda.html>
- Caltrans. (2010). *Caltrans Precast Concrete Committee Update*. Recuperado de: https://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/PCI_West/Education/2010-09.pdf
- Caltrans. (2010). *Seismic Design Criteria, Version 1.6*. Recuperado de: http://www.dot.ca.gov/hq/esc/earthquake_engineering/SDC_site/2010-11-17_SDC_1.6_Full_Version_OEE_Release.pdf. Accessed June 2017.
- Decision-Making Framework. (2005). *Framework for Prefabricated Bridge Elements and Systems (PBES) Decision-Making*. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/prefab/if06030.pdf>

- American Concrete institute. (2001). 550.1R-01: *Emulating Cast-in-Place Detailing in Precast Concrete Structures*. Recuperado de: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/10859>.
- Federal Highway Administration. (2007). *Seismic Accelerated Bridge Construction Workshop Outcomes and Follow-up Activities. Rapid Bridge Construction: Seismic Connections Moderate-to-High Seismic Zones. Final Report*. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/accelerated/followup2007/>
- Khan, M. Dunne, R. (2014). *Recent Developments in ABC Technology. Paper Presented to FHWA Conference on Accelerated Bridge Construction, Baltimore, MD*.
- Kyaleghi, B. (2010). *Washington State Department of Transportation Plan for Accelerated Bridge Construction Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2200, 3-11.
- Littleton, M. Hoffman, L. (2009). *Demonstration Project: Improvements to the 24th Street-I-29/80 Interchange in Council Bluffs, HfL Demonstration Project Report, Office of Infrastructure, Federal Highway Administration, Washington, DC*.
- Federal Highway Administration. (2007). *on the Use of Self-Propelled Modular Transporters to Remove and Replace Bridges*, U.S. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/pubs/07022/chap00.cfm#execsumm>.
- Miller, R. Castrodale, R. Mirmiran, A. y Hastak, M. (2004). *Connection of Simple-Span Precast Concrete Girders for Continuity, NCHRP Report 519*. Transportation Research Board: Washington, D.C.

- Yu-Chen, O. Chiewanichakorn, M. Amjad, J. Lee, G. (2007). Seismic Performance of Segmental Precast Unbonded Post-tensioned Concrete Bridge Columns. *Journal of Structural Engineering*, 133(11), 1636-1647. ASCE.
- Yu-Chen, O. Hsiung, W. Mu-Sen, T. Kuo-Chun, C. y Lee, G. (2010). “Large-Scale Experimental Study of Precast Segmental Unbonded Posttensioned Concrete Bridge Columns for Seismic Regions.” *Journal of Structural Engineering*, 136(3), 255-264. ASCE.
- Prestressed Concrete Institute. (2004). *Design Handbook Precast and Prestressed Concrete*. Recuperado de: http://www.icivil-hu.com/Civil-team/5th/prestressed/PreStressed%20PCI%20DESIGN%20HANDBOOK_6th_Edition.pdf
- Department of Transportation, Federal Highway Administration. (1996). *Public Involvement Techniques for Transportation Decision-making*, U.S. Publication Number FHWA-PD-96-031.
- Snyder, R. (2010). *Seismic performance of an I-girder to inverted-t bent cap bridge connection*. Masters degree thesis. Ames, Iowa: Iowa State University.
- Snyder, R. Vander, W. Thiemann, S. Sritharan, J. Holombo. (2011). *Seismic Performance of an I-Girder to Inverted-T Bent Cap Connection, Final Report*. Sacramento, California: Caltrans; and Ames, Iowa: Iowa State University.
- Self-propelled modular transporter. (2009). *SPMT Process Manual and Design Guide, the Utah Department of Transportation, November*.
- Thiemann, J. (2009). *Pretest 3-D finite element analysis of the girder-to-cap-beam connection of an inverted-tee cap beam designed for seismic loadings*. Masters degree thesis. Ames, Iowa: Iowa State University.

- Veletzos, M. J., y Restrepo, J. I. (2010). Modeling of jointed connections in segmental bridges. *ASCE Journal of Bridge Engineering*, 16(1), 139-147.
-
-
-