

Estudio e implementación de puentes ABC en carreteras urbanas en Chile

Study and implementation of ABC bridges on urban highways in Chile

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Joaquín Morales¹, Jose Luis Seguel²

Historial del artículo:

Recibido
14-11-2023
Aceptado
16-04-2024
Publicado
25-08-2024

Palabras Clave:
Carreteras urbanas
Puentes
Prefabricados
Conexiones
Diseño Estructural

Article history:

Received
14-11-2023
Accepted
16-04-2024
Available
25-08-2024

Keywords:
Urban Roads
Prefabricated
Bridges
Connections
Structural Design

Resumen

En grandes ciudades la construcción de obras viales genera cada vez mas impacto debido a la interrupción en zonas concurridas, por ello el objetivo principal del presente es proponer la metodología ABC en el diseño de puentes carreteros en zonas urbanas de gran dificultad de emplazamiento o en proyectos donde se requiera una rápida construcción, mediante la aplicación en un puente específico en Chile. Para ello se estudió normativa extranjera relacionada al diseño de puentes ABC y luego de una selección de material se adapta esta normativa para poder ser aplicada en Chile, considerando la situación sísmica. Los puentes ABC se basan en elementos prefabricados los cuales requieren conexiones que aseguren un comportamiento monolítico. Se estudian principalmente las conexiones entre el tablero con vigas, pilote columna, columna cabestal y columna zapata de fundación. Se compara el diseño convencional con el diseño ABC para un mismo puente. Para esto se utilizan planillas de Excel y el programa de diseño estructural SAP 2000. También se realiza un estudio del tiempo de construcción. Se obtiene que el diseño ABC tiene un costo superior al diseño convencional ya que se genera un aumento en las dimensiones de los elementos. Con respecto al tiempo de construcción en terreno es considerablemente menor para el diseño ABC por lo que se considera que el estudio realizado cumple con el objetivo de presentar una nueva alternativa para la construcción de puentes en situaciones donde el tiempo de construcción en terreno o la interferencia de la ruta son críticos.

Abstract

In big cities the construction of road works generates more and more impact due to the interruption in crowded areas, therefore the main objective of the present work is to propose the ABC methodology in the design of road bridges in urban areas of great difficulty of location or in projects where a fast construction is required, by means of the application in a specific bridge in Chile. For this purpose, foreign standards related to ABC bridge design were studied and after a material selection, these standards were adapted to be applied in Chile, considering the seismic situation. ABC bridges are based on prefabricated elements which require connections that ensure a monolithic behavior. The connections between the deck with beams, column pile, column head and column foundation footing are mainly studied. The conventional design is compared with the ABC design for the same bridge. Excel spreadsheets and the SAP 2000 structural design program are used for this purpose. A study of the construction time is also carried out. It is obtained that the ABC design has a higher cost than the conventional design since it generates an increase in the dimensions of the elements. Regarding the construction time in the field, it is considerably less for the ABC design, so it is considered that the study fulfills the objective of presenting a new alternative for the construction of bridges in situations where the construction time in the field or the interference of the route are critical.

* Corresponding author at: Joaquín Morales Munita, Universidad de Chile, Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas, Beauchef 850, Santiago, Chile. E-mail address: j.morales.munita@gmail.com

RIOCI

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 12, no. 02, pp. 1–8, Agosto 2024

1. Introducción.

1.1 Contexto

Es posible observar en las últimas décadas que en Chile ha habido un aumento sustancial en la cantidad de vehículos que circulan por las calles y un incremento de la infraestructura pública, lo que ha provocado una extensión significativa del tamaño de las ciudades generando un importante aumento de los tiempos de transporte. Este problema se agudiza con nuevas reparaciones, reemplazo de puentes existentes o construcciones de obras, lo cual genera una interferencia parcial o total de las rutas.

A lo anterior, se suma que en las grandes zonas urbanas hay lugares en donde existen limitaciones para construir, sobre todo cuando se tiene una gran cantidad de viviendas o ciertas zonas con una municipalidad exigente en temas constructivos y medioambientales. Esto genera problemas con los horarios de trabajo, intervención en los servicios (agua, gas, luz, etc), desvíos de tránsito, aumento de los tiempos de desplazamientos en la zona, poca superficie de trabajo para la realización de la obra, entre otros.

Para estos casos los puentes carreteros de técnicas tradicionales generan un problema a la hora de llevar a cabo su construcción ya que, por los problemas mencionados anteriormente, se tienen situaciones poco óptimas y de tiempo prolongado para su correcta ejecución. Es por esto que nace la motivación de estudiar una técnica de diseño de puentes que reduzca el tiempo de ejecución mediante una construcción más rápida y efectiva en puntos críticos o de difícil emplazamiento en zonas urbanas.

Específicamente, en este documento se estudiará la aplicación de los puentes ABC (Accelerate Bridge Construction) como un primer acercamiento de esta tecnología al país y así poder impulsar su pronta aplicación a proyectos de puentes carreteros urbanos dentro del territorio nacional.

Según el Caltrans ABC Manual (2021) de la Federal Highway Administration (U.S. Department of Transportation) “los puentes ABC son aquellos proyectos que utiliza una planificación, diseño, materiales y métodos constructivos innovadores de manera segura y rentable para reducir el tiempo de construcción que se produce cuando se construyen puentes nuevos o se reemplazan y rehabilitan puentes existentes” (p.15). Esta metodología mejora la seguridad, la calidad, la durabilidad, los costos sociales y los efectos medioambientales durante la construcción y por lo tanto la implementación a proyectos desde el punto de vista estructural cobra mucha importancia, sobre todo lo relacionado con los criterios de diseño y normas asociadas.

1.2 Objetivo General

El objetivo del presente documento es proponer la metodología de puentes ABC (Accelerate Bridge Construction) en el diseño de puentes carreteros en zonas urbanas de gran dificultad de emplazamientos o en proyectos donde se requiera una rápida construcción mediante la aplicación de esta metodología en un puente específico en Chile.

Para ello se siguió la siguiente línea de investigación:

- Estudiar la normativa de diseño estructural para los puentes ABC a través de códigos, manuales y normas extranjeras.
- Adaptar esta normativa a las regulaciones chilenas, ver sus diferencias y analizar que se debe modificar considerando especialmente la condición sísmica de Chile.
- Diseñar detalles constructivos para la unión de los distintos elementos prefabricados y diseño del post-tensado para los elementos prefabricados del caso estudiado.
- Aplicar la tecnología ABC en el diseño de un puente chileno, comparando con el diseño convencional.

1.3 Alcance

Para la realización de este trabajo técnico se aborda el problema de construcción de puentes carreteros urbanos en zonas críticas, es decir, en donde la intervención de las rutas genera un gran impacto en el entorno.

Se tendrá como alcance el diseño estructural de puentes ABC, sin considerar las fundaciones ni los estribos, para puentes carreteros en zonas urbanas en Chile. Esto se realizará a través de cuatro etapas principales de acuerdo con los objetivos específicos definidos.

2. Metodología

2.1 Estudio de normativa extranjera

2.1.1 Definición y características de los puentes ABC

Se investigó de variadas fuentes la definición de los puentes ABC, dentro de estas se encuentra el Caltrans ABC Manual (2021), el ABC Manual and Examples Federal Highway (2011), la AASHTO LRFD GSABC (2018), U.S Bridges (2022), entre otras. De acuerdo con lo investigado los puentes ABC se definen como: “aquellos métodos constructivos de puentes en los cuales se usa la combinación más eficiente de innovación, planeación, diseño, materiales y técnicas constructivas para disminuir significativamente los impactos de la construcción en terreno”. Los puentes ABC pueden agilizar la construcción en terreno, lo que conlleva a una disminución en el tiempo de entrega del

proyecto, la calidad y durabilidad del producto final y la seguridad en la zona de trabajo, tanto para los peatones como para los trabajadores en obra. El uso de la construcción acelerada de puentes en una obra significa construir los componentes del puente fuera del sitio y luego transportarlos al sitio de trabajo para su instalación o bien construir los elementos prefabricados paralelamente a los trabajos en obra. Este procedimiento fuera del sitio permite una finalización más rápida del proyecto. Además, este tiempo de finalización más rápido reduce la cantidad de interrupciones en las áreas circundantes durante la construcción.

Para evaluar si se construirá con metodología ABC o de forma convencional se deben tomar en cuenta los objetivos del proyecto y sus restricciones. Estas consideraciones pueden ser limitaciones por el clima, interferencias de tráfico o empresas locales, restricciones en actividades de construcción en áreas sensibles o mantenimiento de servicios esenciales.

2.1.2 Normativa extranjera

En esta sección se presenta la investigación de normativa extranjera para puentes ABC. Se revisaron variados manuales dentro de los más relevantes para el tema se encuentran el Caltrans ABC Manual (2021) y la AASTHO LRFD GSABC (2018).

De acuerdo con la normativa los puentes ABC se realizan con diseño LRFD y se debe tener en cuenta que la mayoría de los elementos son prefabricados por lo que se requerirán conexiones que permitan un comportamiento monolítico entre los elementos.

Con respecto al diseño de los elementos prefabricados, debe ser realizado respetando los requisitos de la norma AASHTO LRFD BDS (2017). Esta indica los estados límites que debe soportar la estructura, las combinaciones de carga y las armaduras que se deben disponer en los elementos según los criterios que corresponda en cada caso. Se agregan las combinaciones de carga correspondiente al izaje y transporte de los prefabricados.

Por su parte el tablero debe ser diseñado según indica el reporte de PCI State of the Art Report on Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck Panels (2011). Este menciona que el diseño del tablero se divide en tres etapas; el diseño de los paneles prefabricados, el diseño transversal y diseño longitudinal.

Para el diseño del panel prefabricado siguen las especificaciones de la norma especificada anteriormente para los elementos prefabricados. El diseño transversal se realiza con el método de las franjas que considera una franja transversal del tablero como una viga simplemente apoyada en tantos apoyos como vigas tenga el tramo. Por su parte, el diseño longitudinal se realiza con un postensado el cual asegura la unión entre los paneles

prefabricados.

2.2 Convalidación con normativa chilena

Se observa que las conexiones de los elementos prefabricados son lo que más diferencia un puente ABC de uno convencional por lo que al momento de realizar el estudio comparativo se debe poner especial énfasis en el desarrollo de estas para que el puente cumpla con los requisitos exigidos por el Manual de Carreteras o, de ser necesario generar una memoria de cálculo que los justifique.

Para tener una mayor seguridad en las conexiones se modificará el factor de reducción de estas a uno más pequeño que el de los elementos prefabricados, realizando esto se está asegurando que la falla no ocurra en la conexión, sino que ocurra en algún elemento estructural no tan determinante como lo es la conexión entre dos elementos.

También se destaca que los topes antisísmicos son un requisito solo existente en Chile por lo que hay que incluirlo en el diseño del puente ABC y en el caso que se esté conectando elementos prefabricados, se debe dejar el espacio previamente para la posterior instalación de los topes.

En las normas extranjeras se mencionan materiales que en Chile no están normados por un documento oficial. Se debe generar trabajo específico que describa el comportamiento de este y a su vez justifique que el material tiene un comportamiento óptimo y seguro para su utilización en el puente.

2.3 Detalles constructivos

Los detalles constructivos más importantes para la realización de un puente con metodología ABC son las conexiones debido al uso de prefabricados. Estas conexiones son diseñadas utilizando la norma AASHTO LRFD GSABC (2018). A continuación, se presentan las conexiones que se utilizarán para el diseño del puente del caso específico.

2.3.1 Llaves de Corte Tablero-Viga

Las vigas se conectan al tablero mediante las llaves de corte, los paneles prefabricados disponen agujeros en los ejes de las vigas. Por su parte las vigas prefabricadas tienen armadura de corte dispuesta en la zona de los agujeros por lo que la llave de corte se basa en la resistencia de corte de esta armadura.

Estas llaves de corte deben ser capaces de resistir tanto horizontal como verticalmente el movimiento entre los elementos para tener un comportamiento conjunto entre viga y tablero. El diseño se realiza siguiendo las recomendaciones de la norma AASHTO LRFD BDS (2017). Se muestran en la Figura 1.

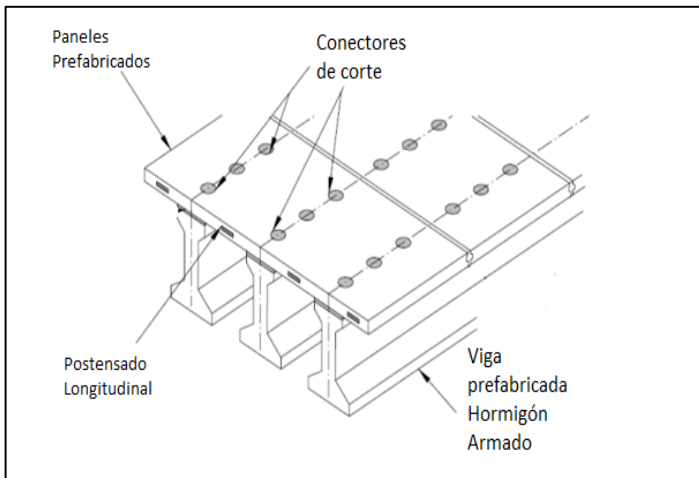


Figura 1. Conectores de Corte para Paneles Prefabricados. Fuente: *Recommendations for the Connection Between Full-Depth Precast Bridge Deck Panel Systems and Precast I-Beams* (2007).

2.3.2 Conexión de Bolsillo

Consta de una columna con armadura proyectada y otro elemento, en este caso el cabezal, que contiene el hueco en el hormigón. La columna es instalada y luego se dispone el cabezal de manera que encaje en la armadura proyectada, la conexión esta completa cuando se rellena el agujero con hormigón in situ o lechada. Se utiliza una capa entre el extremo de la columna y la base del cabezal o la parte superior de la zapata para acomodar las tolerancias de fabricación y construcción.

La conexión de bolsillo requiere un tubo de acero corrugado en la superficie interna del. Este tubo es puesto entre la armadura superior e inferior, sirve tanto como un lugar de sujeción como un refuerzo transversal de unión. El diámetro del tubo es determinado para que se puedan instalar las armaduras longitudinales proyectadas de la columna mientras que el espesor es determinado para que satisfaga los requerimientos de refuerzo de la conexión. Se muestra la conexión en la figura 2.

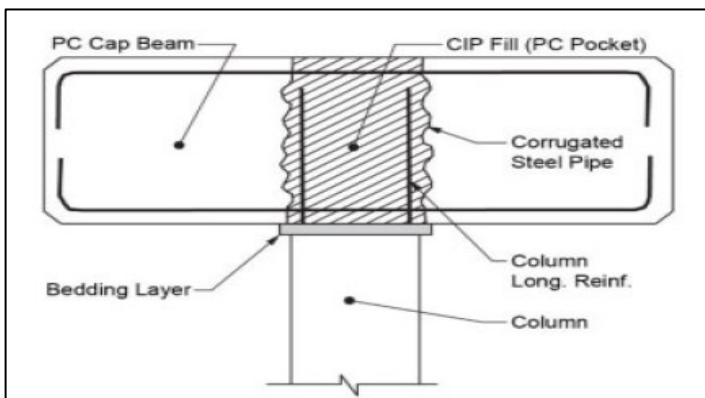


Figura 2. Conexión de bolsillo. Fuente: *AASHTO LRFD GSABC* (2018).

2.3.3 Conexión de enchufe columna-zapata

Se utiliza para conectar las columnas del estribo en la zapata de fundación. Esto se realiza insertando las columnas en la zapata de fundación la cual tiene los agujeros construidos de acuerdo con los planos estructurales. Debido a los agujeros que requiere esta conexión se requiere de armadura de refuerzo tanto para la armadura superior e inferior de la zapata de fundación.

Para mantener la integridad de la interconexión de los elementos a través de la interfaz, el peso propio del elemento empotrado y la carga de construcción asociada deben soportarse hasta que el concreto o la lechada dispuesta en la interfaz alcance una resistencia suficiente. Si la columna es dispuesta temporalmente sobre el suelo se debe utilizar una losa de sacrificio para prevenir los asentamientos relativos del suelo. Se muestra la conexión en la figura 3.

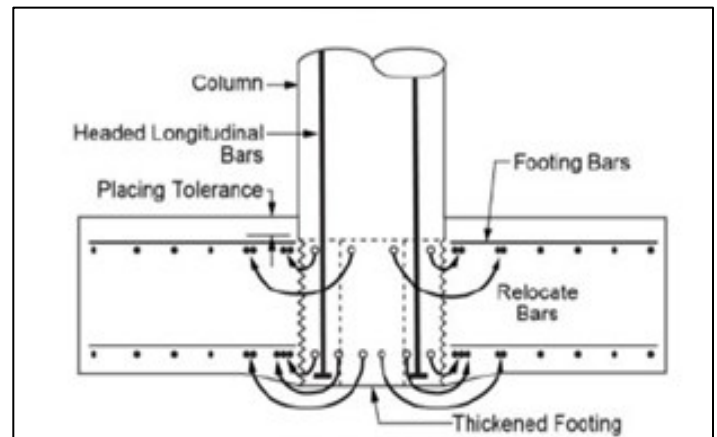


Figura 3. Conexión Columna Zapata. Fuente: *AASHTO LRFD GSABC* (2018).

2.3.4 Conexión de enchufe Columna-Pilote

Se utiliza para conectar la columna con el pilote, se sobredimensiona el pilote para poder insertar la columna dentro de este, con la longitud de emplazamiento correspondiente lo que asegura un empotramiento. Para esto se dispone de un shaft en el pilote, este tiene refuerzos de confinamiento el cual varía con la cercanía a el punto crítico a la conexión.

La principal fuente de transferencia de fuerza en la conexión es por esfuerzo de corte y carga axial a través de las superficies de contacto del agujero. La zona de disipación de energía se encuentra entre los elementos que están siendo conectados, la conexión se realiza con hormigón in situ. Típicamente no se utiliza refuerzo de acero en la interfaz de los elementos a conectar por lo que la rugosidad de las superficies es un factor importante a la hora de diseñar la conexión al corte. Se muestra la conexión en la Figura 4.

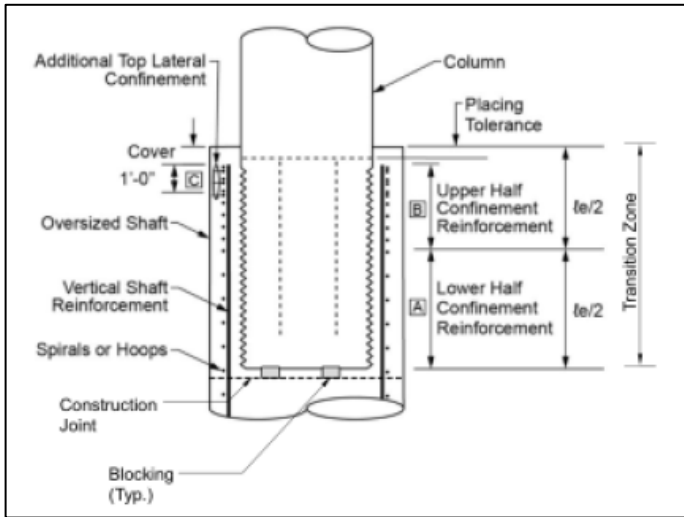


Figura 4. Conexión de enchufe. Fuente: AASHTO LRFD GSABC (2018).

2.4 Diseño caso específico

En esta sección se realiza el diseño del puente San Pablo Antiguo utilizando la técnica ABC, esto para luego comparar este diseño con el diseño convencional de este mismo. El puente está constituido por dos vanos, cada uno con 4 vigas prefabricadas y loseta de continuidad. La cepa está constituida por un cabezal soportado por 4 columnas prefabricadas, estas tienen como fundación pilotes. Se tienen estribos vacíos con 4 columnas y una fundación superficial.

2.4.1 Técnica convencional.

El diseño fue realizado por la empresa JLS Ingeniería en 2018-2021 siguiendo una metodología tradicional basándose en el hormigonado in situ de los elementos lo que permite tener conexiones húmedas entre los elementos por lo que se evita el diseño de conexiones secas.

La superestructura está compuesta por 8 vigas (4 en cada tramo) de hormigón pretensado y una losa hormigonada in situ con la utilización de moldajes. La obtención de los esfuerzos en el caso de la superestructura se obtiene de las cargas de peso muerto, cargas vivas y sobrepesos mediante el uso de las combinaciones de cargas dispuestas por la norma AASHTO LRFD GDS (2017).

La infraestructura está compuesta por 4 columnas hormigonadas in situ las cuales poseen la misma dimensión que los pilotes, generando una cepa pila-pilote. La cepa también es hormigonada in situ. Para el diseño de esta, se analiza en el sentido longitudinal como una estructura enterrada, donde las solicitaciones estáticas se determinan mediante una teoría de empujes de Coulomb y Rankine (1800 y 1840), mientras que las solicitaciones sísmicas se estiman mediante el modelo cinemático descrito en el Manual de Carreteras Capítulo 3.1000

(2018). Para las solicitaciones sísmicas en el sentido transversal de la estructura se analizan mediante método modal espectral.

Se utiliza un modelo de elementos finitos, 3D desarrollado en SAP2000 para el análisis estructural en sentido longitudinal a la estructura, mientras que para el análisis estructural en sentido transversal de la estructura se realiza un modelo de elementos finitos, 3D en SAP2000.

2.4.2 Técnica ABC

En este diseño solo se abarcarán las vigas prefabricadas, tablero prefabricado, columnas prefabricadas, cepas prefabricadas y sus respectivas conexiones. Se utilizarán grúas para el ensamble de los elementos prefabricados. A continuación, se presenta una descripción de cómo se abordará el diseño siguiendo una metodología ABC para el puente San Pablo Antiguo.

La superestructura estará compuesta por 8 vigas (4 en cada tramo) de hormigón pretensado la cual es diseñada de manera convencional y un tablero compuesto por paneles prefabricados. Adicionalmente, se deben agregar llaves de corte en el ala superior para realizar la conexión a corte con el tablero prefabricado mediante *pocket connections* para asegurar el comportamiento monolítico del tablero y las vigas. Los prefabricados del tablero tendrán su mismo largo y como ancho la mitad de la separación entre vigas. Los paneles se deben diseñar para la flexión transversal.

La unión longitudinal entre los prefabricados se ejecutará mediante un postensado, el cual unirá todos los prefabricados del tablero. Se presenta a continuación una figura que destaca los elementos o conexiones que se modificarán del puente para utilizar la metodología ABC en el caso de la superestructura. En la figura 5 es posible observar lo que se modificará del diseño convencional.

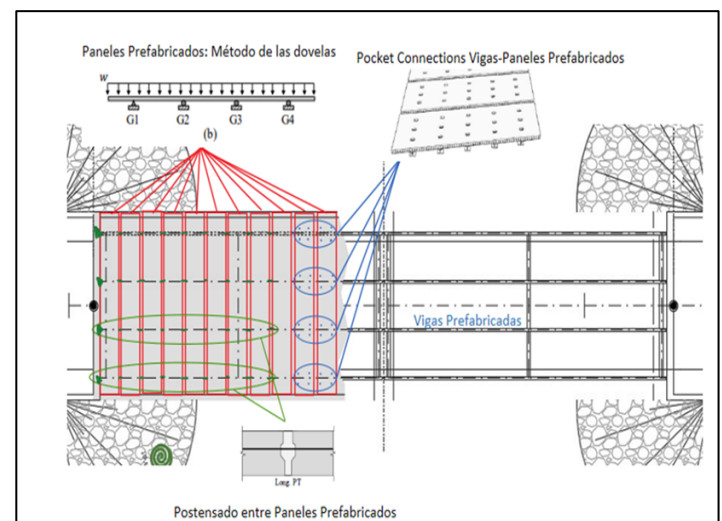


Figura 5. Elementos y conexiones a diseñar superestructura. Fuente: *Planos del proyecto modificados*.

Notamos que para diseñar transversalmente el tablero se utilizará el método de las dovelas, el cual considera una sección del tablero como una viga simplemente apoyada. El refuerzo longitudinal por otro lado debe ser suficiente para distribuir las cargas vivas, este diseño incluye las conexiones de corte viga-tablero el cual debe cumplir un comportamiento compuesto entre estos elementos. Los esfuerzos en el caso de la superestructura se obtienen de las cargas de peso muerto, cargas vivas y sobrepesos mediante el uso de las combinaciones de cargas dispuestas por la norma AASHTO LRFD GSABC (2021).

Por su parte, la infraestructura que se diseña contempla las columnas del estribo y cepa, el cabezal y las conexiones. Las columnas se prefabricarán para luego ser conectadas con los pilotes y el cabezal prefabricado en el caso de la cepa. Esto se realizará mediante conexiones de enchufe para el caso de los pilotes y conexión de bolsillo para conectar con el cabezal. Adicionalmente, para el caso del estribo se utilizarán conexiones de enchufe para unir las columnas con la fundación. Ambas uniones se diseñan para traspasar la flexión, esfuerzo de corte y compresión. Se presenta a continuación la figura 6 que destaca los elementos y conexiones que se modificarán del puente para utilizar la metodología ABC en el caso de la cepa y estribo.

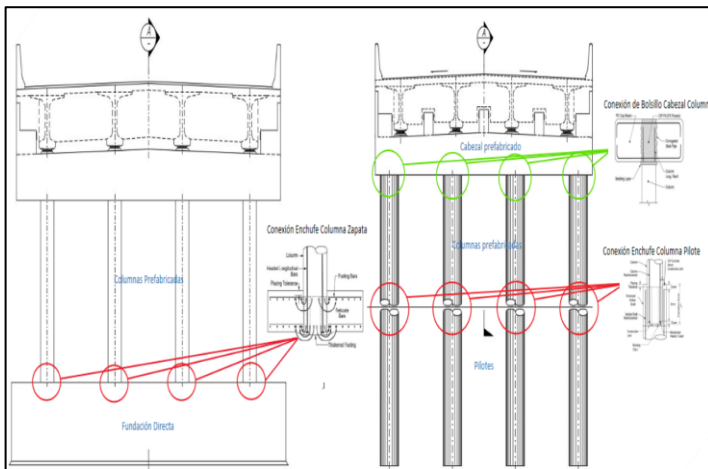


Figura 6. Elementos y conexiones a diseñar Estribo y Cepa. Fuente: *Planos del proyecto modificados*.

Notamos que para realizar la conexión columna pilote se debe contar con que estos sean de un diámetro mayor a la columna, ya que debe empotrarse en el pilote quedando con una longitud de desarrollo de 1.5 veces el diámetro de la columna. Paralelamente, en la conexión cepa columna se debe tener un especial cuidado al momento de diseñar los fierros de anclaje en la conexión de bolsillo, ya que requiere una longitud de

emplazamiento de al menos 60 veces el diámetro y la distancia entre la armadura de la columna. Además, el tubo corrugado debe ser mayor que 1.5 veces del agregado más grande.

La obtención de los esfuerzos para el diseño de los elementos y las conexiones de la infraestructura se realiza mediante la utilización del programa de análisis estructural SAP2000. En el modelo se representan como “frames” los elementos que trabajan en dos direcciones principales a flexión considerando la rigidez axial del elemento. La superestructura se une a la infraestructura a través de elementos enlace, a los que se les asignan las propiedades de las placas de apoyo dispuestas, de esta forma se considera la rigidez vertical y horizontal de estas.

3. Análisis de resultados

En esta sección se compara el diseño del puente San Pablo Antiguo con metodología ABC con respecto a la metodología convencional. Principalmente se observa si cambian las cantidades de materiales y dimensiones en los elementos junto con el tiempo de construcción.

3.1 Superestructura

Con respecto a la metodología convencional solo se modificó el tablero ya que se diseñó para ser construido por paneles prefabricados los cuales son conectados a las vigas prefabricadas mediante llaves de corte que permiten el comportamiento colaborante viga-tablero.

La armadura que se le debe disponer transversalmente a los prefabricados es idéntica a la del diseño convencional. El espesor en los paneles prefabricados es de 25 centímetros (5 centímetros de asfalto) mientras que en el diseño convencional se tiene un espesor promedio de 22 centímetros, se debe tener en consideración que las vigas deben tener el resalte para permitir instalar los paneles que tienen una pendiente de 2.5%.

Para el diseño de la armadura longitudinal se utiliza un postensado de 6 cables de acero 270 ksi de baja relajación por rama separadas a 2 metros mientras que en el diseño convencional es una malla de barras de 12 milímetros de diámetro a 15 centímetros de separación. Por último, se debe tener en cuenta la enfierradura de las llaves de corte ya que cada agujero debe tener 4 barras de 16 milímetros de diámetro como armadura de corte, esta debe venir dispuesta en las vigas longitudinales para luego ser encajada en las conexiones de corte del tablero.

3.2 Infraestructura

En la infraestructura se modificaron, con respecto al diseño convencional, las columnas de la cepa y estribo, el cabezal y los

pilotes. En el nuevo diseño las columnas de la cepa y el cabezal son elementos prefabricados, al igual que las columnas del estribo. Es por esto que se genera la necesidad de utilizar conexiones entre estos elementos las cuales fueron presentadas en la sección anterior.

Para que la conexión pilote columna fuera factible se aumentó en 50 centímetros el diámetro de los pilotes quedando pilotes de 1.5 metros de diámetro. En el diseño convencional los pilotes se diseñaron con armadura de cuantía mínima (cuantía de 1%) por lo que al agrandar la sección se tuvo que aumentar también la armadura a 24 barras de 32 milímetros de diámetro para que se cumpla este criterio de diseño.

Tabla 1. Comparación Pilote.

DISEÑO	CONVENCIONAL	ABC
Profundidad (m)	15.82	15.82
Diámetro (m)	1	1.5
Volumen Hormigón (m ³)	12	28
N° Barras	16	24
D. Barras (mm)	25	32
Kg. Acero (Kg)	393	965
Relación Volumen Hormigón		2.25
Relación Kg Acero		2.46

Como se observa en la tabla se tiene un aumento del 125% en la cantidad de volumen de hormigón en los pilotes, esto se traduce en la utilización de 64 metros cúbicos de hormigón extra tomando en cuenta los 4 pilotes. Así mismo se tiene un aumento del 146% en los kilogramos de acero necesarios pasando de 16 barras de 25 milímetros a 24 barras de 32 milímetros por pilote.

Las columnas de la cepa tienen las mismas dimensiones y armaduras con los diseños de ambos métodos. La diferencia que se presenta es que bajo el diseño ABC se tienen columnas prefabricadas mientras que en el diseño convencional corresponden a columnas hormigonadas in-situ.

Con respecto al cabezal, se aumenta su altura 30 centímetros con respecto al diseño convencional con el objetivo de cumplir los requisitos de la conexión de bolsillo (Cabezal-Columna). Por su parte, la armadura superior e inferior se ve disminuida en el nuevo diseño por el aumento de altura de la sección. Es importante destacar la importancia de la distribución de la armadura tanto de la columna como del cabezal ya que se debe realizar como se mostró anteriormente para evitar la interferencia de enfierradura en la conexión.

Tabla 2. Comparación Cabezal Cepa.

DISEÑO	CONVENCIONAL	ABC
Altura (m)	1.3	1.6
Largo (m)	11.74	11.74
Ancho (m)	1.9	1.9
Volumen Hormigón (m ³)	29	36
Espaciamiento (cm)	20	20
D. Barras (mm)	25	22
Kg. Acero (mm ³)	123	95
Relación Volumen Hormigón		1.23
Relación Kg Acero		0.77

Como es posible observar en la tabla 2, se tiene un aumento del 23% en el volumen de hormigón de la cepa, esto se traduce en la utilización de 7 metros cúbicos de hormigón más comparado con el diseño original. Por otro lado, se tiene una disminución del 13% de la armadura longitudinal ya que en el diseño original se disponen de barras de 25 milímetros espaciadas a 20 centímetros mientras que en diseño ABC barras de 22 milímetros espaciadas también a 20 centímetros. La armadura de corte se mantiene igual.

Por último, se destaca que en el diseño con metodología ABC se deben aplicar conexiones de enchufe y de bolsillo en la infraestructura para obtener una condición de empotramiento entre las columnas con el cabezal por la parte superior y con los pilotes por la parte inferior en el caso de la cepa y para los estribos se utiliza la conexión de bolsillo con elemento macizo para conectar las columnas con la zapata de fundación. Estas conexiones conllevan a un mayor grado de inversión para el proyecto ya que se deben aplicar métodos más elaborado para su correcta ejecución.

3.3 Tiempos de Construcción

Para el puente construido con metodología convencional se obtiene un tiempo de construcción en terreno de 13 semanas, esto tomando en cuenta la superestructura, las columnas y el cabezal. Por su lado, el puente construido con metodología ABC, en base a elementos prefabricados y conexiones, se obtiene un tiempo de construcción en terreno de 3 semanas (22 días), tomando en cuenta la construcción de los mismos elementos.

Con esto se obtiene, en base a los supuestos y a los cálculos realizados, que el puente con metodología ABC permite reducir el tiempo de construcción en terreno en aproximadamente 8 semanas, reduciendo el tiempo de las actividades que se tomaron en cuenta un 75%.

4. Conclusiones

En conclusión, el estudio sobre la metodología de construcción de puentes ABC en Chile representa un avance significativo en la

búsqueda de soluciones eficientes y seguras para la infraestructura vial del país. Mediante la adaptación de normativas extranjeras, especialmente la AASHTO LRFD GSABC (2018), considerando las condiciones sísmicas locales, se logró proponer una guía práctica para el diseño de puentes con elementos prefabricados y conexiones estructurales adecuadas. Se destaca que las conexiones deben asegurar un comportamiento monolítico entre los elementos y tener un factor de reducción menor a 0.8 para proteger y evitar la concentración de fallas.

Esta metodología presenta claros beneficios en la reducción sustancial en el tiempo de construcción, lo que implica una menor interrupción del tráfico y una mejora en la seguridad durante la obra. Sin embargo, se reconoce que la implementación de la metodología ABC también conlleva desafíos financieros, ya que requiere mayores dimensiones de elementos y una mayor inversión en ingeniería, maquinaria y tecnología. Estos factores aumentan costos de construcción. A pesar de esto, los beneficios en términos de calidad, eficiencia y reducción de los costos de vida útil del puente son destacables.

Carreteras. Volumen 3 Instrucciones y criterios de diseño. Capítulo 3.1000 Puentes y estructuras afines. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas de Chile.

- [7] PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute). (2011). *State of the Art Report on Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck Panels*. Chicago, IL: PCI Publications.

6. Referencias

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 8th Edition*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials (2014). *AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design 2nd Edition*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [3] American Association of State Highway and Transportation Officials (2018). *AASHTO LRFD Guide Specifications for Accelerated Bridge Construction. AASHTO LRFD Guide Specifications for Accelerated Bridge Construction*.
- [4] Caltrans, Project Delivery Division of Engineering Services. (2021). *Caltrans ABC Manual*.
- [5] Morales, J. et al. (2023). *Estudio e implementación de puentes ABC en carreteras urbanas en Chile*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- [6] Ministerio de Obras Públicas. (2018). *Manual de*