



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Estructural, N° 6, Volumen 2, Año 2017 · ISSN: 2215-4566

Eliminando las juntas de expansión: Los puentes integrales y semi-integrales

Ing. Esteban Villalobos Vega

*Unidad de Puentes
Programa de Ingeniería Estructural
esteban.villalobos@ucr.ac.cr*

Sofía Vignoli Vargas

*Candidata a Lic. Ingeniería Civil
Universidad de Costa Rica
sofiavignoli1@gmail.com*



Figura 1. Puente integral Happy Hollow Creek en Tennessee, EUA. Estructura curva de concreto prefabricado con un largo de 358 m
(Tomado de <http://www.concretebridgeviews.com/i70/Article1.php>)

Introducción

En Costa Rica, los puentes en su gran mayoría se han diseñado y construido especificando el uso de juntas de expansión y apoyos, entre otras razones para permitir las deformaciones de expansión y contracción del puente por los gradientes de temperatura.

Sin embargo, al igual que se ha observado internacionalmente (Burke, 2009), debido a una serie de factores como falta de mantenimiento cíclico o basado en la condición, el uso de juntas y apoyos inadecuados o de poca durabilidad, y las condiciones climáticas de alta precipitación durante gran parte del año, han provocado reiteradamente que los puentes con varios años de servicio evidencien deterioros de diversa índole en las juntas de expansión y, debido al paso del agua de escorrentía a través de estas, también afectaciones en los apoyos y en otros componentes de los puentes (Ver Fig. 2).



Río Kooper - RN04



Río Madre de Dios - RN32



Río Tenorio - RN01



Río Seco - RN01

Figura 2. Ejemplos de deterioros en juntas de expansión y sus consecuencias, en puentes de rutas nacionales.

La tendencia en países desarrollados es, en la medida de lo posible, evitar el uso de componentes con menor vida útil que los componentes estructurales principales del puente y que requieran de mantenimiento, inspección, sustitución periódica, y que podrían comprometer la durabilidad del puente, como es el caso de las juntas de expansión y de los apoyos (Martinez, 2012).

Cuando se cumplen estos requisitos: no utilización de juntas de expansión y un mínimo de dispositivos de apoyo, se habla entonces de los denominados **puentes integrales**.

El AASHTO LRFD 2014 de los EUA, reconoce esta tendencia en el comentario C2.5.2.1.1, en donde indica: *“Además del deterioro del tablero de concreto como tal, el problema de mantenimiento de puentes más frecuente es la desintegración de los extremos de las vigas, apoyos, pilas y bastiones debido a la filtración de agua con sal a través de las juntas de expansión. La experiencia parece indicar que un tablero estructuralmente continuo provee la mejor protección a los componentes bajo el tablero”* (AASHTO, 2014). Además, en el inciso 14.5.2.1, indica que el número de juntas de expansión en una estructura se deberá mantener al mínimo, y en el respectivo comentario C14.5.2.1 señala: *“Puentes integrales, puentes sin juntas de expansión, deberán ser considerados en donde la longitud de la superestructura y la flexibilidad de la subestructura son tales que los esfuerzos secundarios debido a la restricción del movimiento se encuentren dentro de límites tolerables”* (AASHTO, 2014).

En el Reino Unido, el Volumen 1 de la Sección 3-Parte 7 del DMRB: Diseño por Durabilidad (BD 57/01), indica de manera explícita: *“2.3-En principio para longitudes que no excedan 60 m y sesgos de no más de 30°, los puentes adicionalmente deberán ser diseñados como puentes integrales, con los bastiones conectados directamente a la superestructura, sin juntas de expansión o contracción en el tablero”* (Highways Agency, 2001).

En Nueva Zelanda, se ha vuelto común la construcción de puentes integrales desde hace varias décadas (Wood et al., 2015). En Japón, la primera estructura diseñada bajo este principio se completó en 1996, en Corea del Sur en 2002 (Burke, 2009), y en China desde el año 2000 se construyen puentes integrales (Wood et al., 2015).

Puentes Integrales

Un puente integral es una estructura de uno o varios tramos en donde se eliminan las juntas de expansión, y en donde se limita al máximo el uso de dispositivos de apoyo.

Debido a la anterior definición, esta categoría engloba desde un paso de formación natural como lo es el denominado Puente de Piedra en Grecia (Ver Fig. 3), los puentes en arco de mampostería antiguos como el puente sobre el río Jesús María en Ruta Nacional No. 131 (Ver Fig. 3), los puentes tipo marco rígido, y muchos otros construidos en Costa Rica e internacionalmente desde hace varias décadas.



Figura 3. Puente de Piedra en Grecia y el puente sobre el río Jesús María en RN 131.

Por ejemplo, en EUA, el primer puente denominado como integral se construyó en 1938 por el Departamento de Transportes de Ohio (ODOT) y ahora son usados en al menos 41 estados. En las últimas décadas, ha sido el Departamento de Transportes de Tennessee el que ha liderado su implementación y a finales del siglo pasado construyó el puente Happy Hollow Creek, de concreto presforzado y 358 m de largo (Burke, 2009) (Ver Fig. 1).

Ahora bien, no obstante es un término amplio, la experiencia de muchas décadas ha permitido llegar a la conclusión de que un puente integral moderno se compone por lo general de los siguientes elementos (Burke, 2009):

- Una superestructura continua construida integralmente con bastiones tipo cabezal sobre pilotes (Ver Fig. 4). Si bien es cierto es posible usar cualquier material en un puente integral, de acuerdo con Yen y Khaleghi

(2016), el concreto presforzado presenta la ventaja sobre el acero de que experimenta considerablemente menos movimiento por el gradiente térmico, y sobre el concreto reforzado dado que experimenta menores deflexiones por efectos a largo plazo.

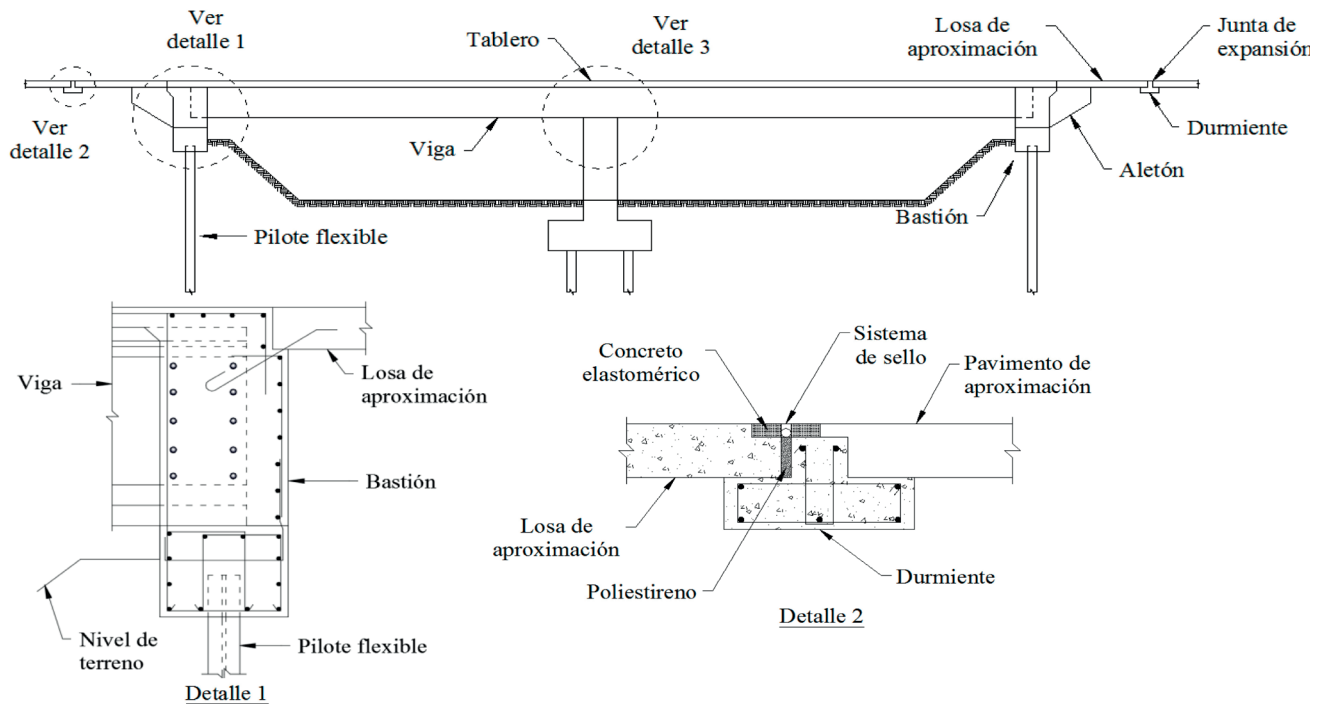


Figura 4. Esquema de puente integral típico; caso de estructura de dos tramos.

- Bastiones soportados por terraplenes y por una única línea de pilotes verticales (Ver "Detalle 1" en Fig. 4), de forma tal que se provea la mayor flexibilidad posible y, de esta forma, se obtenga una menor resistencia a los movimientos térmicos. Bajo estas condiciones, sólo los pilotes y los alerones son sujetos a esfuerzos altos (Wasserman, 2014). La práctica usual y extendida es utilizar pilotes tipo "H" de acero. Los pilotes de concreto presforzado tienen una flexibilidad limitada ante cargas laterales y, por lo tanto, sólo se pueden utilizar para luces pequeñas. Es posible mejorar el desempeño de pilotes presforzados al nivel de los de acero, usando por ejemplo detalles especiales en la conexión con la cimentación para permitir más libertad de movimiento (Kamel et.al., 1995) u orificios pre-excavados rellenos con material granular.

Existen también dudas sobre la probabilidad de agrietamiento que cause problemas de durabilidad. De acuerdo con Abendroth et. al. (2007), la literatura disponible y la evidencia experimental presentan conclusiones diversas sobre la conveniencia de usar pilotes de concreto presforzado para esta aplicación, pero si han sido utilizados y pueden llegar a ser más económicos.

- Pilas rígidas con apoyos móviles (que es el detalle más utilizado en puentes de acero) (Ver Fig. 5(a)), pilas semi-rígidas (el cual es el tipo de detalle más usado en el caso de vigas de concreto prefabricado y presforzado) (Ver Fig. 5(b)), pilas flexibles construidas integralmente con la superestructura (Ver Fig. 5(c)), o pilas con goznes en la base e integrales con la superestructura (la cual generalmente es una sección tipo cajón) (Ver Fig. 5(d)) (PCI, 2001; Yen y Khaleghi, 2016). Se recomienda que la continuidad de la superestructura sea completa. Las

pilas siguen los mismos principios de diseño de puentes tradicionales, con la principal diferencia de que el diseño de pilas en puentes integrales involucra el acomodo de movimientos potencialmente grandes de la superestructura y la distribución de las fuerzas longitudinales y transversales entre los elementos de la subestructura (Yen y Khaleghi, 2016).

- Una losa de aproximación unida al bastión, y que es soportada por el bastión y el relleno de aproximación (Ver "Detalle 1" en Fig. 4). El anclaje que se debe proveer entre la losa de aproximación y el bastión, debe ser detallado de forma tal que actúe como un gozne (Wasserman, 2014).
- Se recomienda utilizar juntas de control localizadas entre la losa de aproximación y el pavimento de la carretera, cuando el pavimento de la carretera es de concreto o cuando es asfáltico y el movimiento anticipado de un bastión excede 13 mm (Ver "Detalle 2" en Fig. 4)

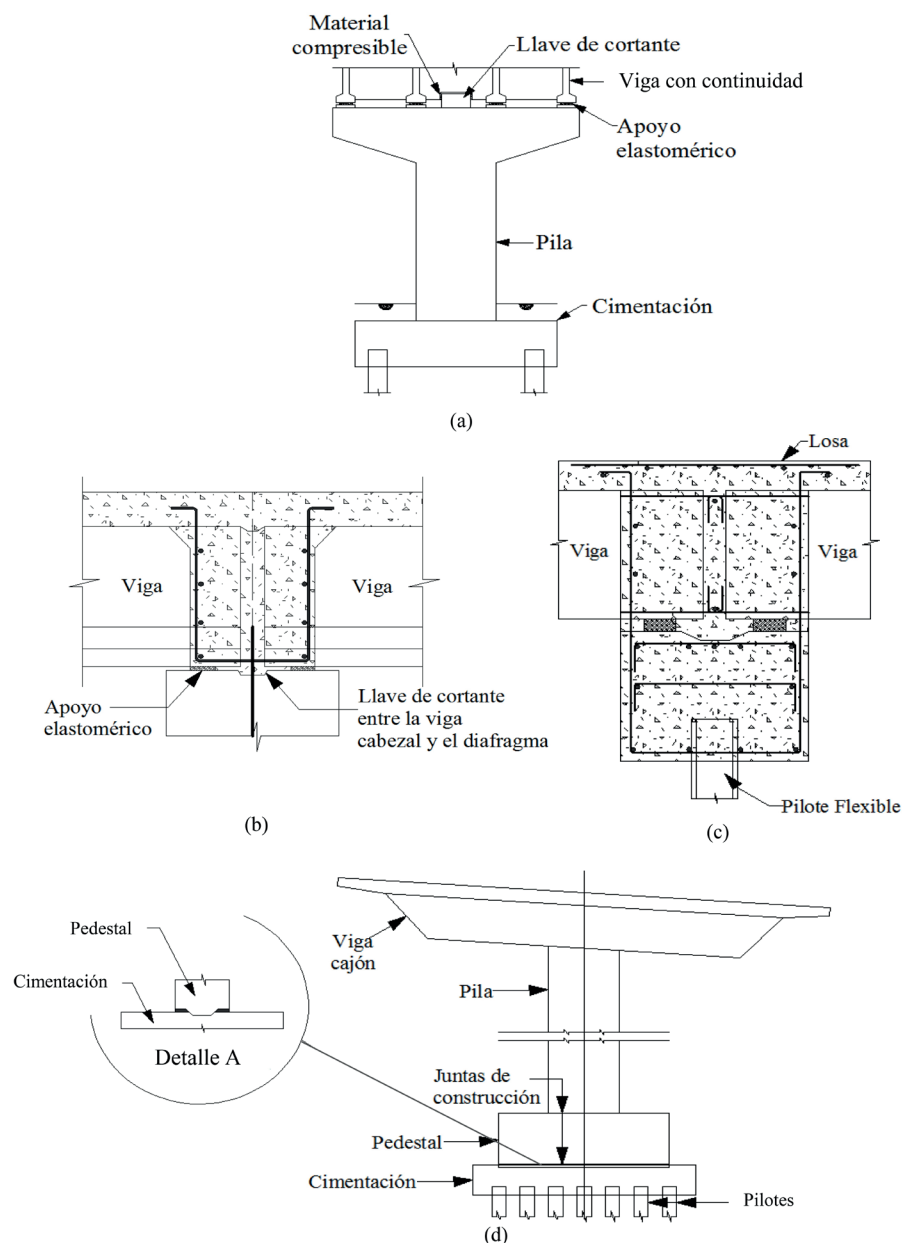


Figura 5. Detalles típicos de continuidad en pilas para puentes integrales: (a) Pilas rígidas con apoyos móviles; (b) Pilas semi-rígidas; (c) Pilas flexibles construidas integralmente con la superestructura; (d) Pilas con goznes en la base e integrales con la superestructura.

Puentes semi-integrales

Los puentes semi-integrales se desarrollaron en los EUA a partir de la década de los sesentas como una alternativa a los puentes integrales, con el fin de extender el rango de longitudes aplicables y para tipos de suelo muy rígidos en donde no es factible utilizar bastiones con pilotes flexibles.

Al igual que en el caso de los puentes integrales, se eliminan las juntas estándar de expansión entre la superestructura y los bastiones, por lo que se mejora considerablemente la durabilidad. Los puentes semi-integrales son utilizados tanto para obras nuevas como en rehabilitaciones de puentes estándar existentes.

Se diferencian de los puentes integrales fundamentalmente en dos aspectos: los bastiones deben ser soportados sobre suelo y fundaciones rígidas con el objetivo de evitar asentamientos y, quizás el más importante, la superestructura se mueve longitudinalmente de forma independiente a los bastiones (Burke, 2009). En la Fig. 6 se muestra un detalle típico de bastión semi-integral en donde se puede observar que entre la superestructura y el bastión se colocan apoyos elastoméricos.

Estas diferencias hacen que en el diseño y construcción de puentes semi-integrales se deban tomar ciertas precauciones de importancia (Burke, 2009).

Entre ellas está que se debe restringir, aún más, su uso en puentes con sesgo, y proveer, cuando sea necesario, apoyos guiados que ayuden en la resistencia a la rotación en planta de la superestructura. Además, es obligatorio el uso de juntas de control, las cuales se pueden llegar igualmente a dañar, pero cuyas consecuencias no son tan serias como en el caso de juntas de expansión estándar. Por otra parte, el relleno de aproximación es un factor clave en su comportamiento, y por lo tanto, se le debe prestar especial atención durante la etapa constructiva, procurando un adecuado sistema de drenaje en la vía que evite la intrusión de agua. Otro aspecto es que, debido a que la superestructura se mueve individualmente a la subestructura, durante el colado de los diafragmas en los extremos se debe evitar que ocurran cambios súbitos de temperatura. Adicionalmente, el material que se use para dar forma a la junta entre la superestructura y la subestructura durante la etapa constructiva, debe ser eliminado para no provocar una restricción indeseada a los movimientos de los apoyos. Finalmente, es clave la colocación de un material de sello adecuado y durable, que evite la intrusión de relleno granular a la junta entre la superestructura y la subestructura.

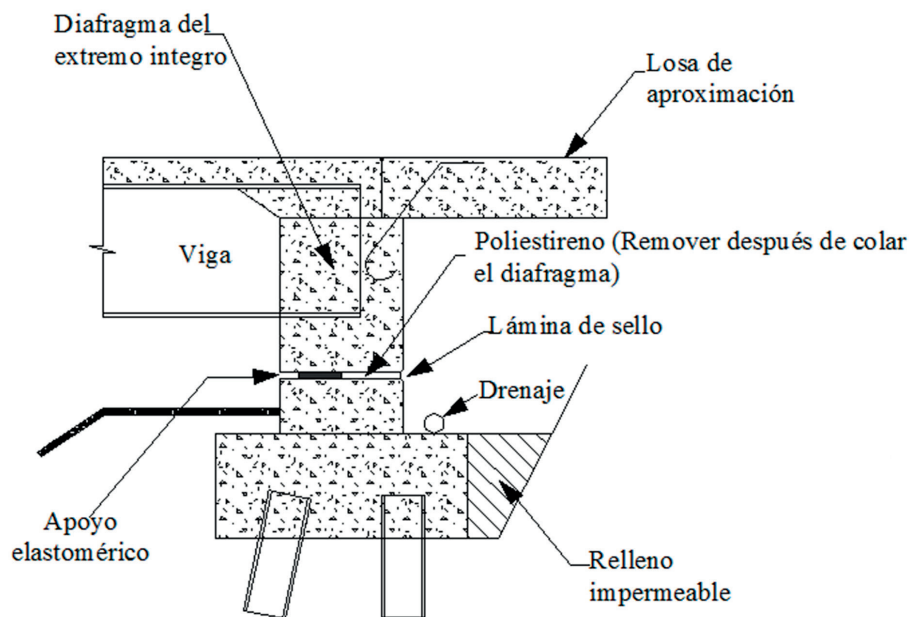


Figura 6. Detalle típico de bastión semi-integral del DOT de Ohio (no se muestra el acero de refuerzo de los elementos).

Diseño

De acuerdo con Wasserman (2014), la implementación de puentes integrales no ha sido lo que se podría llamar una ciencia exacta, hablando claro en sentido figurativo, sino más bien una cuestión de intuición, experimentación y observación. La razón por la que no ha sido completamente desarrollada una metodología de diseño estándar para puentes integrales, es que el análisis de un pilote ante cargas laterales es un problema complejo de interacción suelo-estructura (Wasserman, 2014).

Ante la ausencia de criterios universalmente aceptados, los enfoques más difundidos para el diseño de puentes integrales son (Modjeski and Masters, 2003):

• **Diseño simplificado:** Siempre que se cumplan ciertos límites y requisitos, es posible utilizar, sin modificaciones, los métodos de diseño estándar de superestructuras (los efectos de la ligera restricción rotacional provocada por los bastiones integrales pueden ser ignorados). Las fuerzas laterales y longitudinales sobre la superestructura pueden también ser ignoradas. Con excepción de las cargas laterales o longitudinales aplicadas directamente sobre las pilas y la presión pasiva aplicada directamente a los aletones de los bastiones, las pilas y los bastiones pueden ser diseñados únicamente para cargas verticales.

Burke (2009), recomienda que los requisitos sean al menos los siguientes:

- Limitar la longitud de los puentes a no más de 90 m.
- Las superestructuras de varias luces deberán ser continuas.
- El sesgo se debe limitar a 30° y la curvatura a 5°.
- Proveer terraplenes y una sola fila de pilotes verticales para soportar bastiones tipo cabezal.
- Proveer pilotes flexibles (tipo "H" de acero para los puentes más largos) con longitudes de no menos de 3 m y preferiblemente de no menos de 4,6 m. Los pilotes deberán ser orientados en el eje débil a flexión (almas paralelas al bastión).
- Proveer losas de aproximación conectadas al bastión.
- Proveer juntas en el pavimento para el caso de pavimentos rígidos, con el objetivo de permitir el alargamiento cíclico del puente y del pavimento, o cuando es asfáltico y el movimiento anticipado de un bastión excede 13 mm.

• **Diseño detallado:** Es especificado por algunos pocos estados para el diseño de cualquier puente integral (por ejemplo Pensilvania), y es también recomendado para cuando las características del puente, ya sea por la longitud, el sesgo, la curvatura, el tipo de suelo, el ancho, u otra característica especial, se salga de los rangos aceptados para el diseño simplificado.

Se recomienda revisar el ejemplo preparado por Modjeski and Masters (2003) para el FHWA de los EUA, en donde de manera muy detallada, se presenta el diseño completo paso a paso de un puente integral de dos tramos de concreto presforzado. Se recomienda ver además FHWA (1993), PCI (2001) y FHWA (2015).

Desempeño sísmico

Se considera que los puentes integrales poseen un buen comportamiento antes sismos, debido a que presentan una alta redundancia, desplazamientos reducidos, se elimina la posibilidad de la pérdida de asiento, y desarrollan un alto amortiguamiento debido a la interacción suelo-estructura (Masrilyanti y Weekes, 2014) ocurriendo la mayoría en el relleno de aproximación (Wasserman, 2014). Además, durante sismos, los bastiones continuos han probado tener un desempeño consistentemente bueno, y han reducido (o incluso evitado) daños y problemas en la pared posterior de los bastiones y en los apoyos, problemas que generalmente están asociados a puentes

con juntas (Yen y Khaleghi, 2016). Si bien es cierto algunas estructuras sufrieron ciertos daños leves en terremotos ocurridos en California y Nueva Zelanda, los puentes con bastiones integrales demostraron en general mejor desempeño comparativo durante esos eventos (Wood et al., 2015).

La Guía de Diseño Sísmico LRFD de AASHTO (2011), no se refiere explícitamente a puentes integrales, pero en algunas secciones se presentan algunas recomendaciones al respecto, por ejemplo, en cuanto a si el bastión contribuye o no a la resistencia sísmica en los apartados 5.2.3.2 y 6.7.1, entre otros. Se recomienda consultar Yen y Khaleghi (2016), en donde se hace una revisión detallada de estos apartados. Este tipo de enfoque puede involucrar la aceptación de daño en los bastiones, aletones y en caso de ser necesario en los pilotes, siempre que se garantice de que no se presente pérdida de asiento en la superestructura u otro tipo de daños como falla de columnas en pilas, bajo el objetivo de desempeño de prevención de colapso (Yen y Khaleghi, 2016).

Wood et al. (2015), recomiendan el uso del diseño basado en desplazamientos para el caso de puentes integrales debido a la influencia significativa de la interacción suelo-estructura en la dirección longitudinal y la influencia de parámetros geométricos (ancho del bastión, perfil de altura de las pilas, conexiones losa-bastión) en la dirección transversal. Se recomienda revisar precisamente Wood et al. (2015), en donde se presenta un ejemplo de cálculo de un puente integral de dos tramos incluyendo el diseño sísmico basado en desplazamientos.

Los aspectos relativos a puentes semi-integrales en zonas de riesgo sísmico, se discuten en Yen y Khaleghi (2016). Es importante mencionar que algunos de los estados de EUA en donde más se ha utilizado la construcción de puentes semi-integrales, son los estados del oeste del país que se ubican en la zona de mayor riesgo sísmico: California, Washington, Oregón y Nevada (Burke, 2009).

Ventajas y desventajas de los puentes integrales

Ventajas

- **Mayor durabilidad y reducción de costos de mantenimiento:** Esta es la mayor ventaja y la razón principal por la cual nacieron y se ha extendido su uso a nivel mundial. Como ya se mencionó anteriormente, los apoyos y juntas de expansión tienen en algunos casos un alto costo de adquisición, instalación, mantenimiento, reparación y sustitución (Ver Fig. 7). El paso de agua contaminada a través de las juntas de expansión causa problemas de corrosión en los elementos inferiores, especialmente en vigas de concreto reforzado y metálicas. Además, las juntas pueden llegar a obstruirse con basura y otros desechos sólidos y perder su funcionalidad.
- **Menor costo y mayor rapidez constructiva:** Para dos puentes construidos esencialmente de la misma forma, excepto que uno tenga juntas de expansión y el otro sea un puente integral, en la gran mayoría de los casos, los costos de construcción serán menores en el puente integral debido, en parte, a que los elementos son relativamente sencillos, las tolerancias son amplias, hay pocas juntas de construcción, pocas partes, pocos materiales y se evitan las prácticas en las que la mano de obra es intensiva (Ver Fig. 7) (Burke, 2009). Por lo general, también se puede obtener una mayor rapidez constructiva (Wasserman, 2014), aún más si se utilizan sistemas de construcción acelerada de puentes (ABC por sus siglas en inglés).
- **Mayor eficiencia estructural:** La continuidad hace que los puentes cuenten con una mayor redundancia, y que se pueda hacer un uso más eficiente de los materiales al proveer una distribución de las fuerzas más homogénea entre los elementos. Se da también una mejor distribución de las cargas vivas, lo cual reduce los esfuerzos de servicio (Burke, 2009). Además, la continuidad y una mayor esbeltez, mejoran las posibilidades de lograr una adecuada estética visual.

- **Reemplazo y ensanchamiento simplificado:** Son fáciles de ensanchar o reemplazar en caso de que se haya subestimado el crecimiento en la demanda de peso o cantidad de vehículos. Las subestructuras de estos puentes, específicamente los pilotes, pueden ser reutilizados al colocar un nuevo cabezal o pueden ser retirados o dejados en su lugar (Burke, 2009).

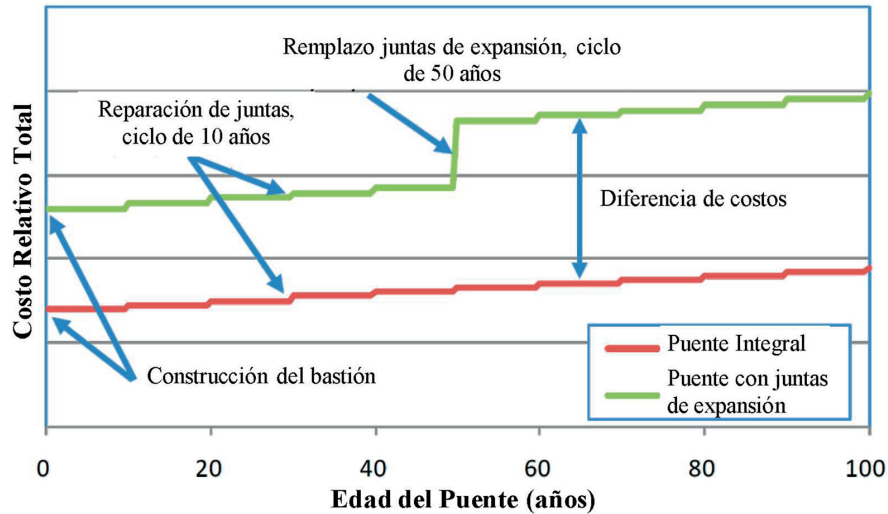


Figura 7. Análisis comparativo de costo de vida relativo entre puentes integrales y con juntas de expansión, sin tomar en cuenta los costos que son iguales en ambos casos (Tomado de Azizinamini, 2013).

Desventajas

- **Aplicaciones limitadas:** Una de sus principales limitaciones es que, a diferencia de los puentes con juntas de expansión, los puentes integrales no son aplicables para todas las situaciones ni tipologías (Burke, 2009).
- **Falta de estandarización y normativa específica:** No existe un estándar interno y uniforme para el diseño de estas estructuras en ningún país, por lo que cada una de las agencias de transportes ha tenido que adoptar prácticas, detalles y suposiciones basadas en su propia experiencia (Kunin y Alampalli, 2000); lo anterior a pesar de su uso extensivo y de la gran cantidad de investigación que se ha realizado al respecto. No obstante, este aspecto también podría ser visto como una ventaja directa por algunos ingenieros, quienes, siempre desde la ética profesional, no están limitados por ningún código en el diseño de este tipo de puentes, y por lo tanto, pueden hacer uso del criterio, entrenamiento ingenieril y de la experiencia para llegar a soluciones integrales.
- **Longitud máxima:** Para puentes de longitudes mayores a 140 m se han evidenciado problemas relacionados con la losa y los rellenos de aproximación (Wolde-Tinsae; Klinger y White, 1988). Generalmente, las luces máximas admisibles para puentes integrales son entre 80 m y 100 m, lo cual depende del país y en el caso EUA, del estado. En la Fig. 8 se observa la gran variabilidad de longitudes máximas permitidas sólo en Norteamérica, lo cual está relacionado con la falta de estandarización.
- **Sesgo y curvatura máxima:** En Europa y en la mayoría de estados de EUA, se limita el sesgo a 30°, aunque en algunas partes se han llegado a construir puentes con sesgos de hasta 70°. El problema del sesgo radica en la fuerza necesaria para estabilizar la rotación del bastión. Los puentes integrales poseen también limitación en cuanto a su radio de curvatura; generalmente, el radio se limita a 10 veces el ancho del tablero y el ángulo de apertura a 40°.

- **Esfuerzos en pilotes:** En el caso de pilotes de acero, se ha observado en puentes integrales muy largos, que los esfuerzos en estos elementos pueden acercarse, igualar o incluso exceder, el esfuerzo de fluencia del material. Esto puede generar rótulas plásticas que limiten la resistencia a la flexión para elongaciones adicionales de la superestructura (Burke, 2009). Además, este tipo de daño es costoso de reparar.

- **Necesidad de investigación:** Se requiere profundizar la investigación sobre la presión pasiva del terreno sobre el bastión, para poder describir adecuadamente la relación entre la cantidad de compresión y la generación de presión pasiva, y el efecto de los ciclos de compresión y expansión sobre el terraplén. De hecho, se considera que la falta de investigación en este campo y la consecuente falta de especificaciones para considerar los efectos de las presiones pasivas del suelo, es probablemente la razón principal del lento desarrollo de estándares de diseño y de procedimientos constructivos para puentes integrales (Burke, 2009).

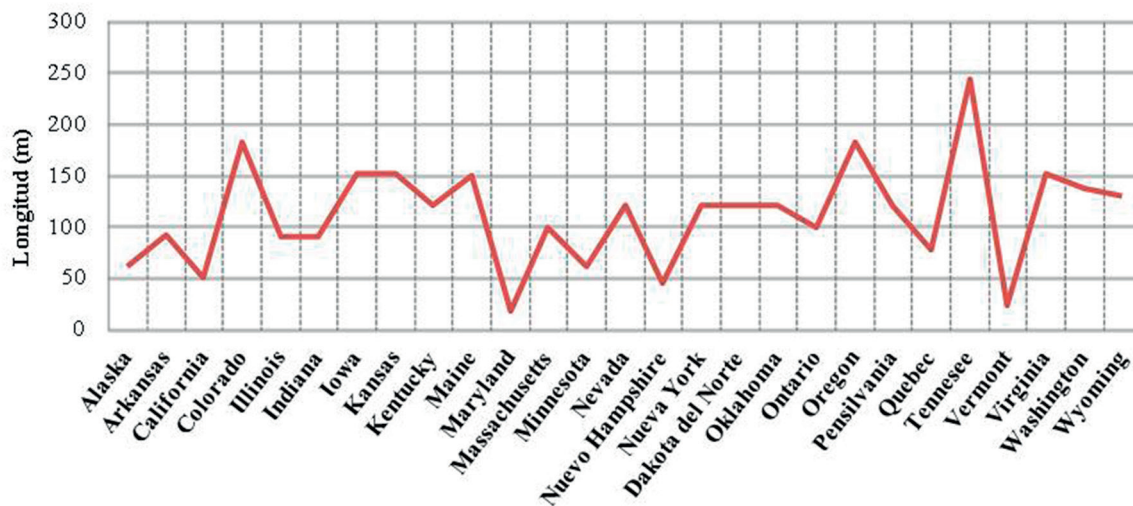


Figura 8. Variabilidad de las longitudes máximas permitidas para puentes integrales en Norteamérica (Fuente: Kunin y Alampalli, 2000; PCI, 2001; Burke, 2009).

Referencias bibliográficas

- AASHTO** (2014). "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications", *American Association of State Highway and Transportation Officials*, 7^{ma} Edición, EUA.
- AASHTO** (2011). "AASHTO Guide Specification LRFD Seismic Bridge Design", *American Association of State Highway and Transportation Officials*, 2^{da} Edición, EUA.
- Abendroth, Robert E. et al.** (2007). "An Integral Abutment Bridge with Precast Concrete Piles", *Iowa Highway Research Board / Iowa Department of Transportation*, EUA.
- Azizinami, Atorod** (2013). "Design Guide for Bridges for Service Life", *SHRP 2 Renewal Project-TRB*, Borrador, EUA.
- Burke Jr., Martin P.** (2009). "Integral & Semi-Integral Bridges", *Wiley-Blackwell*, EUA.
- FHWA** (1993). "COM624P-Laterally Loaded Pile Analysis Program for the Microcomputer", *Publication No. FHWA-SA-9-048*, Agosto, EUA.
- FHWA** (2015). "Steel Bridge Design Handbook", *Publication No. FHWA-HIF-16-002*, Diciembre, EUA.
- Highways Agency** (2001). "Design Manual for Roads and Bridges - Part 7: Design for Durability (BD 57/01)", *The Stationery Office (TSO)*, Vol. 1 (Sección 3), Agosto, Reino Unido.
- Kamel, Mounir R. et. al.** (1995). "Application of Precast, Prestressed Concrete Piles in Integral Abutment Bridges", *Proceedings of the Fourth International Bridge Engineering Conference*, EUA.
- Kunin, Jonathan y Alampalli, Sreenivas** (2000). "Integral Abutment Bridges: Current Practice in United States and Canada", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 14 (3), Agosto, p.p. 104-111.
- Martínez Muñoz, Francisco** (2012). "Estudio sobre la Redundancia Estructural de Puentes Integrales de Hormigón", *Universitat Politècnica de Catalunya*, Tesina de Especialidad, Barcelona, España.
- Masrilayanti, M. y Weekes, L.** (2014). "Behaviour of integral bridges under vertical and horizontal earthquake ground motion", *Seventh International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2014)*, China.
- Modjeski and Masters, Inc** (2003). "Comprehensive Design Example for Prestressed concrete (PSC) Girder Superstructure Bridge With Commentary", *The Federal Highway Administration (FHWA)*, Resorte FHWA NHI - 04-043, Noviembre, EUA.
- PCI** (2001). "The State of the Art of Precast/Prestressed Integral Bridges", *Precast/Prestressed Concrete Institute*, Illinois, EUA.
- Wasserman, Edward P.** (2014). "Integral Abutment Design-Practices in the United States", *Proceedings of the First International Conference on Jointless Bridges*, Fuzhou, China.
- Wolde-Tinsae, Amde M.; Klinger, James E. y White, Elmer J.** (1988). "Performance of Jointless Bridges", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 2 (2), Mayo, p.p. 112-125.
- Wood, John; et al.** (2015). "Criteria and guidance for the design of integral bridges in New Zealand", *NZ Transport Agency*, Reporte de Investigación 577, Nueva Zelanda.
- Yen, W. Phillip y Khaleghi, Bijan** (2016). "Design and Construction Challenges of Jointless Bridges in Seismic Regions", *Proceedings of the 11th US-Taiwan Bridge Engineering Workshop*, Octubre, Taipei, Taiwan.





LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PIE Programa de
Ingeniería Estructural

Tel. (506) 2511-2500 / Fax (506) 2511-4440
Código Postal 11501-2060
E-mail: direccion.lanamme@ucr.ac.cr
Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad:

Lucía Rojas González / Óscar Rodríguez Quintana

Eliminando las juntas de expansión: Los puentes integrales y semi-integrales

Octubre, 2017