

Puente portátil peatonal desmontable para emergencias

Detachable portable pedestrian bridge for emergencies

MARÍA SUSANA BIANCONI-BAILEZ*, OMAR APANGO-VERA**, HORACIO RAMÍREZ-DE ALBA***

RESUMEN. Se propone, se diseña y se calcula un puente para emergencias. Se alude a históricos casos extremos de necesidad de tender puentes y se señala la recurrencia de emergencias ambientales. Se parte de las premisas de que el puente será peatonal, armable in situ y desmontable una vez recobrada la normalidad. Así mismo, se calcula y modula en piezas cortas de madera y factibles de ser ensambladas por mujeres o niños; se estima su peso, su volumen y su costo. Todo lo anterior con vistas a ser fabricado en serie y abastecido en zonas sinistradas en vehículos de mediana capacidad de carga.

Palabras clave: armado in situ, diseño desarmable, emergencias, estructura de madera, puente ligero.

ABSTRACT. An emergency bridge is proposed, designed and calculated. Historic extreme needs to save a gap are brought to mind and climate emergencies recurrences are mentioned. The start approach is that the bridge will be for pedestrian use, assembled in situ and recovered once normal conditions are reached. Thus, the bridge is designed and pieced in short wooden slabs and easily handled by women and children; total weight and volume is estimated as well as its cost. A chain manufacture production is intended to help vast areas in need by loading medium capacity vehicle.

Key words: in situ assemble, detachable design, emergencies, wood structure, light bridge.

Fecha de recibido:
13 marzo 2015
Fecha de aceptado:
26 mayo 2015

* Universidad Autónoma del
Estado de México, México
bianconi44@hotmail.com

**Instituto Tecnológico y de
Estudios Superiores de Monterrey,
Campus Toluca, México
mioav@yahoo.com.mx

*** Universidad Autónoma del
Estado de México, México
hra_14@yahoo.com.mx

Introducción

La propuesta integra el diseño y cálculo de un puente de madera para situaciones de emergencia, con la intención de tenerlo prefabricado y guardado en instalaciones oficiales (de Protección Civil) para cuando sea necesario. Para tal efecto, las piezas del puente se estandarizan, con el propósito de que pueda ser armado in situ por las personas afectadas.

El largo total del puente peatonal es de 10 m, pudiendo ser menor, ya que se arma por secciones de un metro cada una. Las placas de unión son metálicas y forman parte del paquete junto con los tornillos necesarios para su armado y desarmado. La finalidad es que el puente se recupere en su totalidad y pueda servir en otra ocasión o en diferente lugar.

Metodología

Después de un breve comentario histórico introductorio, se enlistan los objetivos, analizando a la madera como un material estructural, así como la geometría de los puentes de madera conocidos, para después proponer un modelo de puente modular y someterlo a pruebas de carga. Se describe el puente a detalle, sometiéndolo a revisión estructural, por último, se cuantifican las piezas necesarias para armarlo, su peso y se arma un paquete que puede ser transportado en un vehículo mediano.

Antecedentes

Cuando Cortés deja la gran Tenochtitlán aquella noche triste de 1520, lleva consigo un puente portátil¹ construido para salvar los canales o cortaduras que se interponían entre la ciudad y la calzada de Tacuba. “La idea era que una vez que hubiesen cruzado la primera cortadura, lo levantarían para colocarlo en la segunda y así, sucesivamente, en la tercera. [...] El caso es que como el suelo se encontraba reblandecido a causa de la lluvia, las vigas del puente se enterraron profundamente, y en la confusión ya no pudieron moverlo” (Miralles, 2001: 246).

En esta pequeña crónica de eventos ocurridos a principios del siglo xvi encontramos todos los ingredientes que hasta el día de hoy concurren en el caso de emergencias y desastres naturales, que son a nuestro entender los siguientes.

Objetivos

1. Necesidad de salvar vidas.
2. Mantenimiento de comunicación segura y constante entre dos puntos.
3. Previsión de los fenómenos naturales y conocimiento de los periodos de retorno, es decir, de la frecuencia con que la emergencia puede llegar a repetirse.

¹ “Lloviznaba. Antes había caído una fuerte granizada. Era el treinta de junio. En cuanto fue noche cerrada empezó la salida. Abrían marcha los capitanes Gonzalo de Sandoval y Antonio de Quiñones al frente de veinte de a caballo y doscientos de a pie. Venía a continuación Magariño, con cuarenta hombres escogidos que transportaban el puente” (Miralles, 2001: 245).

4. Urgencia por salvar un vado, un torrente o una cañada donde quizás hubo antes un puente, ahora dañado.
5. Utilización de materiales ligeros y transportables.
6. Reutilización del puente o de sus componentes.
7. Embalaje, almacenamiento y transporte adecuados.
8. Colocación ágil y sencilla del puente en el sitio de la emergencia.

Discusión

Los aciertos y los errores de la aventura cortesiana dejan una gran lección. Los españoles no conocen el clima del altiplano con sus constantes lluvias estivales, llevan menos de un año en el sitio; el puente se les hunde en el lodo bajo el peso de los pertrechos y los caballos. La lengua Malinche, Pedro de Alvarado, el propio Cortés y un puñado de soldados (entre los que se encuentra Bernal Díaz del Castillo) salen de la ciudad pisando los cadáveres de sus camaradas.

No es ésta la única noche triste. En la última década se han visto otras no menos dramáticas. Los tsunamis y los huracanes inhabilitan vastos territorios costeros, dejan incomunicadas a las personas, las que sobreviven con el agua a la cintura por largos días. En México, Tlacotalpan, Veracruz, se deshace en el agua estancada, Villahermosa, Tabasco, recurrentemente queda anegada y Chalco en el Valle de México, se nada en aguas negras cuando el drenaje se rompe con el empuje de los eventuales torrentes de lluvia.

Consecuentemente, parece deseable que dependencias gubernamentales (en especial aquellas relacionadas a la protección de la ciudadanía) cuenten con un instrumento prefabricado, concebido específicamente para cubrir la necesidad de llegar con provisiones y medicinas a comunidades aisladas por un siniestro. Un puente portátil, fácilmente ensamblable y recuperable es un requerimiento eventual, pero de primera necesidad cuando de salvar vidas se trata.

Difiere del conocido caso del puente metálico Bailey desarrollado por los británicos durante la Segunda Guerra Mundial, para el paso de vehículos blindados. Su armado in situ requería de brazos metálicos (grúas) y de numerosa mano de obra (tropa) debido a su gran peso.

La madera como material estructural

Las fibras orgánicas vuelven a verse con buenos ojos en la construcción² porque son productos limpios de la tierra, son biodegradables, ligeras y moldeables. La madera es una de ellas, la más utilizada en la construcción, a pesar de que suele usarse temporalmente como cimbra, mientras fragua el concreto o se ensamblan piezas prefabricadas. Siendo México un país forestal, el uso de la madera para el puente propuesto es natural.

El uso de la madera que mantiene su estado normal, como por ejemplo en la construcción o en los muebles, reduce las consecuencias del efecto invernadero y

² Recomendamos la lectura de *Biobased Materials* (2009) de Meg Calkins, LEED AP New Jersey.

contribuye a los esfuerzos que están haciendo muchos países para contrarrestar dicho fenómeno. El problema es que el CO₂ ya está en la atmósfera, por lo que, aunque reduzcamos las emisiones, el efecto invernadero seguirá produciéndose. Por lo tanto, la madera del bosque es imprescindible para retirar el exceso de CO₂ en la atmósfera. La madera se forma químicamente al menos de 50% de carbono, así que mientras se produzca madera y se mantenga como tal, el carbono estará secuestrado al formar parte de su estructura. En términos generales, una tonelada de madera retiene el equivalente a 1.8 toneladas de CO₂ (Ortega Escalona, 2011).

La madera es un material inagotable si se obtiene de plantaciones forestales sustentables; es ligera y si es cortada en escuadrías pequeñas puede ser manipulada por mujeres y jóvenes, además de que es un material no contaminante y barato.

De acuerdo con la reglamentación del Distrito Federal, los tipos de madera más utilizados en la construcción son coníferas y latifoliadas. El primero, se divide en dos clases, mientras que el segundo en cuatro grupos (Gobierno del Distrito Federal, 2004b), siendo el tipo coníferas las que más abundan y por lo que son las más utilizadas en la industria de la construcción de México.

Geometrías para puentes de madera

Desde tiempos antiguos se ha empleado la madera para la construcción de diversas edificaciones. En el caso de puentes, se han utilizado varias configuraciones geométricas con la finalidad de cubrir claros grandes o soportar cargas mayores.

Una de las mejores soluciones es la armadura, que es una estructura constituida

por varios elementos conectados de manera ordenada capaces de librar grandes claros y de resistir cargas medianas.

Por la anterior razón, la propuesta del puente peatonal para emergencias se plantea con base en armaduras de madera para cubrir una longitud máxima de 10 m y que sea capaz de soportar una carga viva de 400 kg/m² (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001).

Descripción de la propuesta

En situaciones de emergencia, la población civil se las ingenia para sobrellevar sus necesidades, comúnmente las mujeres y los niños son quienes permanecen al cuidado de sus bienes sinistrados. Pensando en ellos y en su capacidad de trabajo, se diseña este puente para emergencias con escuadrías de madera gráciles, fácilmente manipulables y con piezas metálicas sencillas para ensamblar los elementos resistentes.

En general, se utiliza madera de pino de primera (conífera, clase A)³ y placas metálicas fabricadas con tramos de perfil PTR cuadrado.

El puente se modula en tramos de un metro de longitud, conformado principalmente por dos armaduras que a la vez son los barandales con un metro de altura (figura 1); dichas armaduras se ensamblan en suelo firme antes de su montaje. Posteriormente, se lanzan las armaduras rigidizándolas con los travesaños, iniciando en un extremo del puente y ajustándolos hasta que todos los

3 Según clasificación de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Madera (Gobierno del Distrito Federal, 2004b).

travesaños estén colocados en su lugar. Finalmente, se colocan tablas sobre ellos para obtener el piso del puente, con una separación entre ellas de 1 cm para permitir el paso de la lluvia y del aire, con el fin de mantener siempre seca la superficie de tránsito.

Para facilitar el armado in situ de la estructura, se utiliza una sola escuadría de madera, el conocido polín⁴ de 10x10 cm, y únicamente dos tipo de conexión a base de perfiles PTR y placas: una para los barandales a la altura del pasamanos y otra similar colocada boca arriba con una pieza adicional soldada en forma de U para recibir los travesaños del piso del puente (figuras 2 y 3). Así, aunque algunos módulos de las placas queden ociosos, será fácil su ubicación en el espacio y no se prestará a errores (figuras 4 y 5).

Los elementos de madera se conectan por medio de piezas metálicas y tornillos de alta resistencia A325 con diámetro de 5/8" (16 mm) para las cuerdas en general, y diámetro de 1/2" (13 mm) para los elementos diagonales, montantes y travesaños. Las tablas del piso se colocan simplemente apoyadas entre los travesaños, facilitando su construcción y recuperación una vez pasada la contingencia.

Estudio estructural de la propuesta

Una vez definidas las características generales de la estructura se realiza el análisis estructural del puente, con la finalidad de determinar su comportamiento y requerimientos de re-

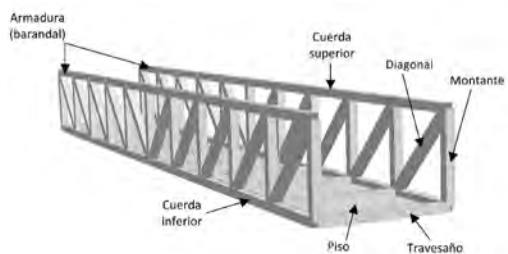


Figura 1. Esquema general del puente de madera para emergencias.
Fuente: Elaboración propia.

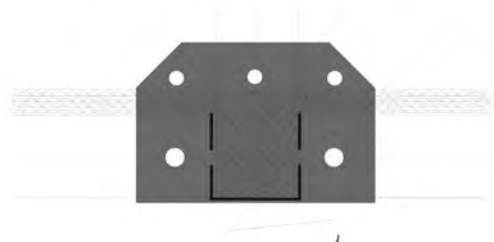


Figura 2. Vista lateral de la placa construida a partir de perfiles PTR.
Fuente: Elaboración propia.

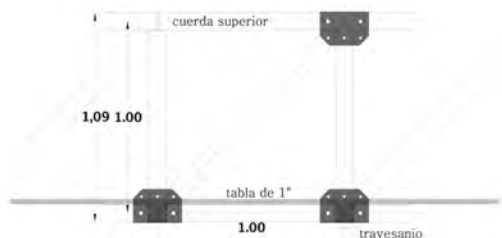


Figura 3. Módulo del puente para emergencias.
Fuente: Elaboración propia.

⁴ La escuadría comercial de los polines es de 9x9 cm, una vez canteados y cepillados.

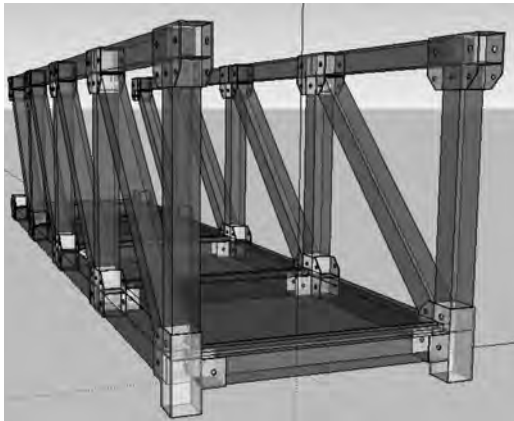


Figura 4. Tipos de conexiones metálicas empleadas en la construcción del puente.
Fuente: Elaboración propia.

sistencia, considerando aspectos geométricos, propiedades de los materiales y efectos de las cargas actuantes, los cuales se revisan y optimizan en el proceso de diseño estructural.

El análisis y diseño estructural están basados en el criterio elástico. La estructura se modela tridimensionalmente, con las dimensiones y los materiales descritos en los apartados anteriores, que se resumen en la tabla 1.

Debido al tipo de estructura y su carácter temporal, se consideran dos tipos de

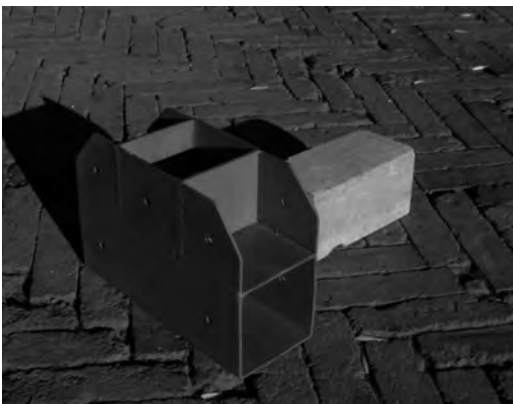


Figura 5. Fotografía de una conexión real empleada en la construcción del puente.
Fuente: Fotografía de Susana Bianconi, 2014.

acciones: permanentes (carga muerta) y variables (carga viva). También se considera el efecto combinado de las cargas, teniendo los siguientes casos (Gobierno del Distrito Federal, 2004a):

- Combinación de servicio: carga muerta más carga viva multiplicadas por un factor de carga igual a 1.0.
- Combinación de falla: carga muerta más carga viva multiplicadas por un factor de carga igual a 1.4.

Elemento	Dimensiones de la sección transversal (cm)	Material
Cuerda superior	10 x 10	Madera conífera, clase A
Cuerda inferior	10 x 10	Madera conífera, clase A
Diagonal	10 x 10	Madera conífera, clase A
Montante	10 x 10	Madera conífera, clase A
Travesaño	10 x 10	Madera conífera, clase A
Piso	2.54 x 30	Madera conífera, clase A
Conexiones	10.16 x 10.16 x 0.48	PTR blanco
Tornillos	Ø = 1.59	Acero A325
Tornillos	Ø = 1.27	Acero A325

Tabla 1. Resumen de los elementos estructurales del puente.
Fuente: Elaboración propia.

El valor de la carga muerta se determina a partir de las dimensiones del elemento y la densidad del material que lo constituye. El valor de la carga viva lo establece la correspondiente normatividad, que para el presente estudio tiene es de 400 kg/m^2 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001).

El diseño se inicia con la recopilación de los resultados obtenidos en el análisis estructural, en particular lo referente a desplazamientos, así como fuerzas y momentos actuantes de cada elemento de la estructura y las reacciones en los apoyos. Para el diseño se considera el criterio de estado límite de la estructura: se alcanza un estado límite de comportamiento en una construcción cuando se presenta una combinación de fuerzas, desplazamientos, niveles de fatiga o varios de ellos que determinan el inicio o la ocurrencia de un modo de comportamiento inaceptable de dicha construcción. Tales estados límite se clasifican en dos grupos: estados límite de falla y estados límite de servicio.

Los primeros se refieren a modos de comportamiento que ponen en peligro la estabilidad de la construcción o de una parte de ella o su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga. Los segundos incluyen la ocurrencia de daños económicos o la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se haya proyectado la construcción. Por lo que la revisión estructural se realiza con base en los estados límite de servicio (desplazamientos) y los estados límite de falla (resistencia).

Los valores máximos en ambos tipos de estados límite se determinan con la regla-

mentación establecida. Es importante notar que dicha reglamentación señala los requerimientos mínimos de seguridad estructural.

Por lo que se revisa que para las distintas combinaciones de acciones especificadas y para cualquier estado límite de falla posible, la resistencia de diseño sea mayor o igual al efecto de las acciones que intervengan en la combinación de cargas en estudio, multiplicado por los factores de carga correspondientes (tabla 2).

También se revisa que no se rebase ningún estado límite de servicio bajo el efecto de las posibles combinaciones de acciones, de esta manera, la deflexión máxima al centro del puente es de 13 mm, mientras que el límite es de 46 mm.

Como conclusión del estudio estructural se menciona que la estructura descrita anteriormente satisface los estados límite, por lo que presenta un comportamiento adecuado ante las acciones actuantes.

Volumen, almacenamiento y transporte de los componentes

Otro aspecto relevante es el transporte y almacenaje del puente, por esta razón, se realiza un estudio de su volumen y peso con la finalidad de prever el espacio y tipo de vehículo para dichas actividades.

Volumétricamente cada puente ocupará un espacio total de dos y medio metros cúbicos (2.50 m^3), obtenidos de la siguiente manera:

- 62 piezas de polín con longitud de 1.00 m = 0.5913 m^3

Elemento	Fuerza actuante (kg)	Fuerza resistente (kg)
Cuerda superior (axial-tensión)	-----	9,258
Cuerda superior (axial-compresión)	6,957	7,728
Cuerda inferior (axial-tensión)	1,687	9,258
Cuerda inferior (axial-compresión)	2,720	7,728
Diagonal (axial-tensión)	3,434	9,258
Diagonal (axial-compresión)	-----	7,728
Montante (axial-tensión)	21	9,258
Montante (axial-compresión)	2,511	7,728
Travesaño (axial-tensión)	148	9,258
Travesaño (axial-compresión)	211	7,728

Tabla 2. Resumen de los elementos mecánicos actuantes y resistentes

Fuente: Elaboración propia.

- 20 piezas de polín con longitud de 1.25 m = 0.25 m^3
- 11 piezas de polín con longitud de 1.5 m = 0.1753 m^3
- 48 piezas de tabla con dimensiones de $2.54 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 1 \text{ m} = 0.3750 \text{ m}^3$
- Contará también con dos rollos de sogá de nylon de 20 m de largo cada una y de $\frac{1}{2}$ " de diámetro = 0.1 m^3
- 44 placas y 99 tornillos que ocupan 1 m^3 adicional.

Comparativamente, este puente ocupa lo mismo que tres refrigeradores medianos. Su empaque será de plástico transparente y todas sus piezas sujetadas con flejes convencionales de plástico.

El peso del paquete seco, para el puente de 10 m de longitud, es de aproximadamente 840 kg, es decir, cada módulo de 1 m de longitud pesa aproximadamente 84 kg. Este peso no incluye el correspondiente a sogas

y herramientas para ajuste de tuercas, sin embargo, se considera que no incrementarán significativamente el peso total. La obtención de los valores anteriores se muestra a continuación:

- 62 piezas de 1.00 metro para las cuerdas y los montantes:
- $0.50 \text{ m}^3 \times 600 \text{ kg/m}^3 = 300 \text{ kg}$
- 20 piezas de 1.25 metros para las diagonales:
- $0.20 \text{ m}^3 \times 600 \text{ kg/m}^3 = 120 \text{ kg}$
- 11 travesaños de 1.50 metros (0.13 m^3) y piso de tabla de 1" (0.375 m^3):
- $0.505 \text{ m}^3 \times 600 \text{ kg/m}^3 = 303 \text{ kg}$

El peso de las conexiones, incluyendo PTR y placas, es de 4.50 kg para las cuerdas superiores y 5.40 kg para las inferiores, totalizando 108.9 kg. Además, se tienen 99 tornillos de 12.5 cm de longitud, incluyendo las tuercas y arandelas, se tiene un peso de $99 \times 0.0724 \text{ kg} = 7.16 \text{ kg}$.

Este peso nos permite transportar el paquete en camionetas Pick ups convencionales. Sin embargo, una vez ubicado en su sitio, el puente llega a aumentar su peso hasta en un 66% al entrar en contacto con el agua.

Costos de construcción y reutilización

Se necesita un total de 47 polines para elaborar todas las piezas de madera (10 para las diagonales, 11 para los travesaños y 26 para las cuerdas y los montantes), además de 16 tablas de 1”.

El costo comercial de un polín de primera (es decir, de madera sin nudos y con veta pareja) es de \$152.00 y el de cada tabla de 3 m es de \$234.00. Dado que los polines vienen en un largo de 2.50 m tendremos una escasa merma.

Consecuentemente, a precios actuales, la madera costará \$10,844.00. Así mismo, cada conexión metálica será maquilada a un costo de \$300.00, por lo que las 44 piezas costarán \$13,200.00.

Los tornillos serán: 40 de 1/2” (\$9.35) y 124 de 5/8” (\$12.36), con un costo total de \$1,907.00. Finalmente, el costo total será de \$25,950.00.

Montaje y desmontaje del puente en zona siniestrada

El puente deberá ser recuperado por la instancia de asistencia que lo suministra una vez superada la emergencia; para tal efecto, la misma gente que hubo de armarlo deberá proceder a desarmarlo y empacarlo nuevamente. El procedimiento es sencillo mien-

tras la holgura de los tornillos permita su deslizamiento a pesar de la hinchazón de la madera en caso de humedad extrema.

Conclusiones

Con el ánimo de mitigar situaciones de necesidad imprevista, se propone esta solución estructural y constructiva de un puente para emergencias. Como se desprende del cuerpo del trabajo, el diseño cumple con las normas de seguridad, es ligero, es económico, es recuperable y de fácil ejecución, su comportamiento puede ser algo incómodo debido a la vibración provocada al caminar.

El material de los elementos estructurales es madera de conífera de primera calidad, con sección transversal tipo polín (sección cuadrada con aproximadamente 10 cm de lado).

Las conexiones de los diferentes elementos resistentes será por medio de perfiles metálicos tipo PTR, así como tornillos de alta resistencia.

Por su diseño, se considera de fácil montaje y desmontaje, con lo que se recupera la estructura para futuras emergencias. De igual manera, el costo de fabricación, almacenaje y transporte es relativamente menor que para estructuras similares de otros materiales estructurales.

Para continuar con el estudio, se analiza la posibilidad de rigidizar el puente con elementos diagonales en el plano horizontal de la estructura del piso, lo que evitará vibraciones al ser usado. La construcción del puente también es deseable en un corto plazo.

Fuentes de consulta

American Institute of Steel Construction (1995), *Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design*, USA.

Calkins, Meg (2009), *Biobased Materials*, LEED AP New Jersey, USA.

Gobierno del Distrito Federal (2004b), *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Madera*, México.

McLaughlin, M. (2005), "The practical and portable British Bailey Bridge helped allied troops remain on the march", *Military Heritage Presents: WWII History*, No 76, pp. 10-15.

Miralles, J. (2001), *Hernán Cortés Inventor de México*, Tusquets, México/Barcelona.

Perfiles Comerciales Cuautitlán. Pesos y medidas de perfiles, [En línea] <http://www.losacero.com.mx/images/tablas%20de%20pesos%20y%20medidas/aceros%20perfiles%20laminados/perfil%20PTR.pdf>, consultado el 24 de mayo de 2011.

Vinnakota S. (2006), *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*, McGraw Hill, México.