
TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. CONCEPCION DEL DISEÑO DE PUENTES.....	4
3. CRITERIOS BASES DE DISEÑO	4
4. TIPOLOGIAS DE PUENTES.....	4
4.1 TABLEROS.....	4
4.2 ESTRIBOS Y ALETAS	4
4.3 PILAS	4
4.4 APARATOS DE APOYO	4
4.4.1 Introducción.....	4
4.5 BIBLIOGRAFÍA	13

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Resultados de ensayo de módulo de corte sobre muestras de goma tipo CR. Fuente: tomado de Laboratorio Prove Materiali, Politecnico di Milano (2008).....	13
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1 Efecto de la aislación sísmica y disipación en pila de puente. Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)	6
Figura 4-2 de respuesta con aisladores.Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C).....	7
Figura 4-3 del periodo del suelo y la aislación sísmica. Fuente (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C).....	7
Figura 4-4 Clasificación del aislamiento sísmico. Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)	8
Figura 4-5 Apoyo de goma de alto amortiguamiento, puente Marga Marga Chile. Tomado de (Seismic Protection Technologies 2011). Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C).....	9
Figura 4-6 Apoyo de goma de alto amortiguamiento, puente Marga Marga Chile. Tomado de (Seismic Protection Technologies 2011). Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C).....	9
Figura 4-7 Puente Puertachuelo - Colombia Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)..	10
Figura 4-8 Puente Portachuelo. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S.	11
Figura 4-9. Esquema de apoyos en estribos. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S.....	11
Figura 4-10 Esquema de apoyos en pilas. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S.....	12

1. INTRODUCCIÓN

2. CONCEPCION DEL DISEÑO DE PUENTES

3. CRITERIOS BASES DE DISEÑO

4. TIPOLOGIAS DE PUENTES

4.1 TABLEROS

4.2 ESTRIBOS Y ALETAS

4.3 PILAS

4.4 APARATOS DE APOYO

4.4.1 Introducción

A continuación, se presentan los conceptos básicos de aislación sísmica basados en la experiencia nacional y en diferentes referencias consultadas, tales como: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C) (Ixumi, 1998), (Moreno, Yamin, & Reyes)

Uno de los objetivos del diseño estructural es mitigar el efecto de los sismos sobre las estructuras para asegurar su funcionamiento antes, durante y después del movimiento telúrico. Para ello existen diferentes formas; la convencional consiste en proveer un balance adecuado entre resistencia, rigidez y capacidad de deformación. Otra manera, es reducir la magnitud de la fuerza de inercia, por medio de aislación de la estructura o la disipación de la energía transmitida por el sismo (Ixumi, 1998), Producir una estructura lo suficientemente rígida y resistente que permanezca en el rango lineal de respuesta (daño mínimo) durante un terremoto puede ser demasiado costoso. Es por esta razón que se han investigado otras alternativas, particularmente en la aislación sísmica.

En el trabajo realizado por (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C) se menciona que la aislación sísmica se fundamenta en reducir las fuerzas inerciales que son transmitidas por el sismo a la estructura, a través de un incremento del periodo estructural o adicionando amortiguamiento al sistema. Para lograr esto, se utilizan dispositivos en los apoyos denominados “aisladores sísmicos” los cuales aumentan el periodo estructural debido a su flexibilidad y aumentan el amortiguamiento del sistema dependiendo del material con el que estos se fabriquen.

4.4.1.1 Marco conceptual

Los sismos ocasionan movimientos en la base de una estructura que causan un efecto equivalente al generado por fuerzas horizontales manteniendo dicha base fija. Para mitigar este efecto, las estructuras sísmo resistentes deben diseñarse teniendo en cuenta un balance adecuado entre rigidez, resistencia y ductilidad (habilidad para sostener amplias deformaciones más allá del rango lineal de respuesta, la cual se relaciona con la capacidad de disipación de energía). Para lograr tal objetivo se pueden utilizar materiales de alta calidad y elementos dimensionados y detallados adecuadamente para prevenir la ocurrencia de modos de falla frágiles. Proveer ductilidad en el diseño, normalmente implica aceptar que la estructura incurrirá en costos de reparación ante la ocurrencia de un terremoto; tal alternativa puede prevenir el colapso de la estructura, pero compromete la operación de esta después de un sismo de gran magnitud. Por esta razón se han investigado otras alternativas tales como la aislación sísmica, que no solo garantiza la integridad de la estructura, sino que también la de los elementos que se encuentran en su interior. Tal comportamiento es deseable para infraestructura básica como hospitales, plantas nucleares y puentes (Garcia, 1998)

El objetivo principal de la aislación sísmica es lograr una disminución del efecto del movimiento de entrada generado por el sismo en la estructura, esto se logra controlando las vibraciones. Dentro de esta alternativa se encuentran dos sistemas: el sistema pasivo, “control pasivo de vibraciones sísmicas”, y el sistema activo. El primero se denomina pasivo porque su operación no depende de fuentes de energía externas y solo entra en funcionamiento cuando las vibraciones sobrepasan un límite definido por el sistema de oscilación, mientras que en los sistemas activos se utilizan sensores de desplazamiento y fuentes de control externa. Dentro del sistema pasivo se hallan las técnicas de aislación sísmica y disipación de energía (Ixumi, 1998)).

La aislación sísmica permite lograr que la energía transmitida por un sismo al puente o edificio sea disipada o reducida, por medio de la utilización de elementos flexibles horizontalmente, llamados aisladores sísmicos, los cuales son colocados usualmente en la base de la estructura para edificios sin sótano y en la unión pila-losa, en el caso de puentes. Cuando se tienen sótanos, o edificios de gran altura, se acostumbra ubicar los aisladores sísmicos en un nivel intermedio del edificio y siempre bajo un diafragma rígido para asegurar que la fuerza se distribuya uniformemente. Los sistemas de aislación hacen que la frecuencia fundamental del sistema sea menor que la frecuencia de la estructura con la base fija y las frecuencias predominantes del movimiento del suelo. Una disminución en la frecuencia fundamental de la estructura implica que el periodo aumenta, trayendo como consecuencia un incremento en el desplazamiento lateral, acompañado de una disminución en la aceleración percibida por la estructura (Ver Figura 4-1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Así mismo, instalar un sistema de aislación, ocasiona que los esfuerzos producidos como consecuencia de un sismo sean más pequeños que los de un puente o edificio

que no tenga ninguno de estos sistemas, haciendo que la estructura se mueva en sentido lateral prácticamente como un cuerpo rígido.

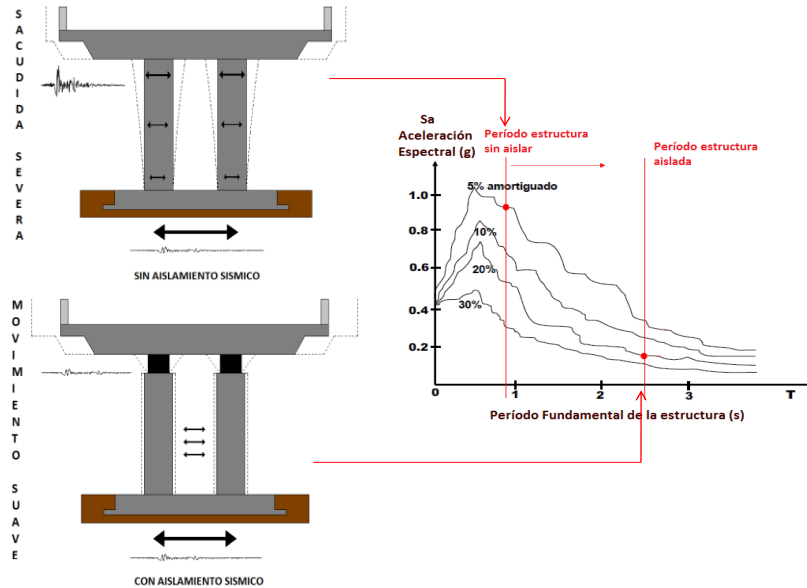


Figura 4-1 Efecto de la aislación sísmica y disipación en pila de puente. Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)

El objetivo principal: disminuir el efecto del movimiento de entrada generado por el sismo en la estructura.

Dentro de estas alternativas de control se encuentran dos posibilidades:

El sistema pasivo, “Control pasivo de vibraciones sísmicas”, SVPC, por sus siglas en inglés,

El sistema activo. El primer sistema se denomina pasivo porque su operación no depende de fuentes de energía externas y solo entra en funcionamiento cuando las mismas vibraciones sobrepasan un límite definido por las características del sistema utilizado. Los sistemas activos se utilizan sensores de los movimientos de respuesta, los cuales son controlados a través de la adición de una fuerza a la estructura o por cambio de las características dinámicas de la misma, y son estos sensores los que activan el sistema de control de vibraciones (Ixumi, 1998).

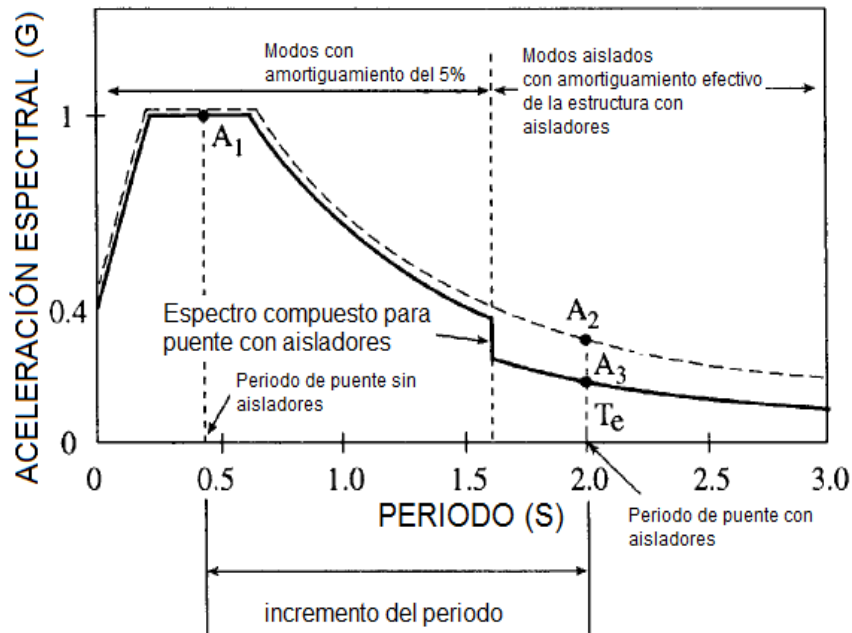


Figura 4-2 de respuesta con aisladores. Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)

Las condiciones locales del suelo tienen un gran impacto en la confiabilidad de la aislación sísmica, ya que en un suelo rígido se observa una disminución significativa en la aceleración espectral, mientras que en un suelo con baja rigidez ocurre lo contrario por posible resonancia entre la forma de vibrar de la estructura y el suelo (Ealangi 2010), esto se puede evitar conociendo las propiedades dinámicas del suelo y logrando que la estructura tenga un periodo diferente, para lo cual la aislación sísmica puede dejar de ser la mejor opción.

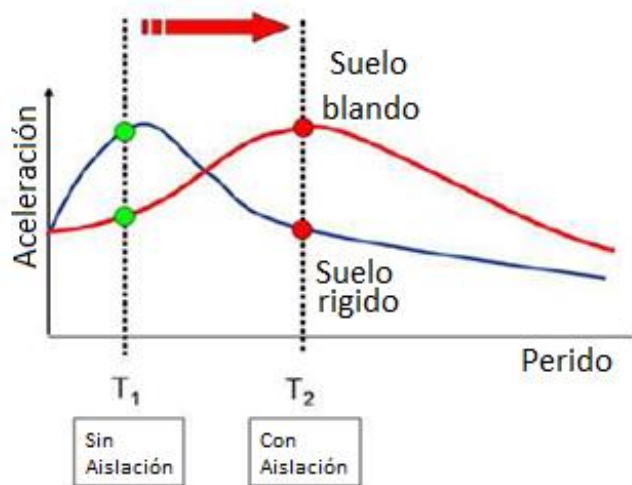


Figura 4-3 del periodo del suelo y la aislación sísmica. Fuente (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)

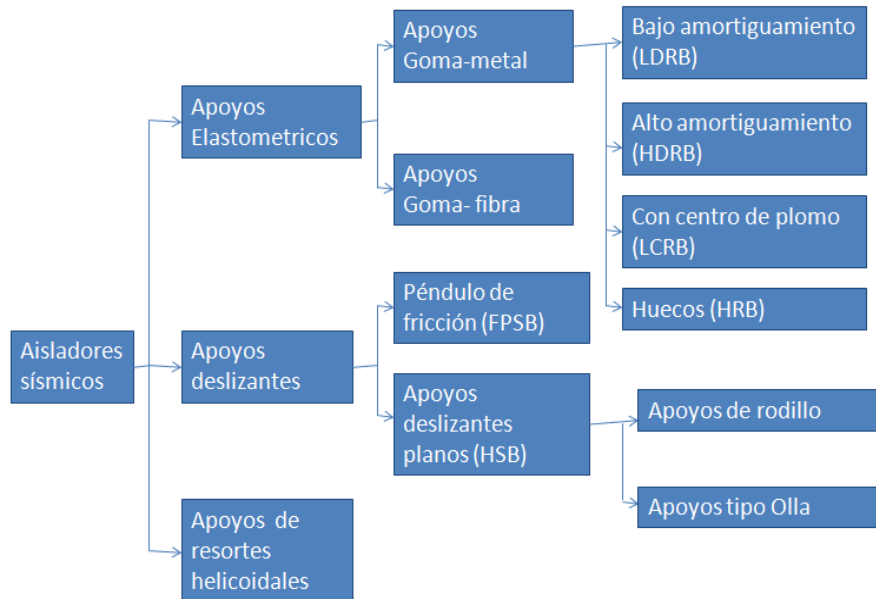


Figura 4-4 Clasificación del aislamiento sísmico. Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)

J

4.4.1.2 Casos internacionales y nacionales

A nivel internacional se está avanzando profundamente en esta área y en 1976, un viaducto italiano, demostró un gran desempeño cuando fue puesto a prueba con la ocurrencia del sismo Friuli, cuyo epicentro estaba muy cercano a dicho viaducto. Los demás puentes cercanos a la zona que no contaban con ningún tipo de sistema de aislación, no obtuvieron el mismo resultado que el viaducto Somplago. Por esta razón, Italia se convirtió en el país líder a nivel mundial en la aplicación de sistemas de aislación sísmica en sus puentes y viaductos, fue tanto el crecimiento que tuvo el país en esta materia, que al principio de los años 90 llegó a tener más de 150 puentes y viaductos utilizando el sistema de control pasivo de vibraciones sísmicas (SVPC, por sus siglas en inglés), más concretamente la aislación sísmica, y para ser más específicos dispositivos disipadores de energía.



Figura 4-5 Apoyo de goma de alto amortiguamiento, puente Marga Marga Chile. Tomado de (Seismic Protection Technologies 2011). Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)



Figura 4-6 Apoyo de goma de alto amortiguamiento, puente Marga Marga Chile. Tomado de (Seismic Protection Technologies 2011). Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)

Igualmente, en Colombia hay diferentes puentes diseñados y construidos con Aisladores sísmicos, entre los que se encuentra el viaducto Portachuelo:



Figura 4-7 Puente Puertachuelo - Colombia Fuente: (Galvis, Bahamon, Muñoz, & Rodriguez, 2012 C)

El viaducto Puertachuelo hace parte de la variante Cajicá–Zipaquirá administrada por la concesión Devinorte, y se encuentra a dos kilómetros de esta última ciudad. Dicho viaducto se construyó con el fin de evitar la entrada a Zipaquirá del tráfico que se dirige al municipio de Ubaté, pasando por encima de la vía que se dirige a Zipaquirá y la vía férrea del tren de cercanías, por lo tanto, cuenta con dos calzadas paralelas independientes construidas con la misma tipología y diferente radio, una en la dirección Bogotá–Ubaté y otra en la dirección Ubaté–Bogotá. Dicha obra de infraestructura vial fue diseñada por la empresa PedeltaS.A.S., y construida por Civilia S. A.

Esta estructura es un puente continuo con curvatura en planta. La calzada que se estudió cuenta con 14 luces, 12 de ellas de 27 m y otras dos de 20.2 m y 19.2 m para una longitud total de 363.4 m. La geometría en planta del eje del viaducto es una curva espiralizada de 229 m de radio entre el estribo 1 y la pila 1, 146 m entre la pila 1 y la pila 2, 150 m entre la pila 2 y la pila 9, 220 m entre la pila 9 y la pila 10, 1018 m entre la pila 10 y la pila 11, seguido de un tramo recto entre la pila 11 y el estribo 2 hacia el municipio de Ubaté



Figura 4-8 Puente Portachuelo. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S.

La superestructura es una losa aligerada de concreto postensado con un ancho total de 10.3 m, lo suficiente para dos carriles de 3.65 m, una berma principal de 1.8 m de ancho en la parte externa de la curva, otra berma secundaria de 0.5 m en la parte interna de la curva y barandas de concreto a cada lado. Los estribos tienen cada uno dos aisladores rectangulares en planta, mientras que en cada columna de las pilas hay apoyos circulares, como se observa en las siguientes figuras:

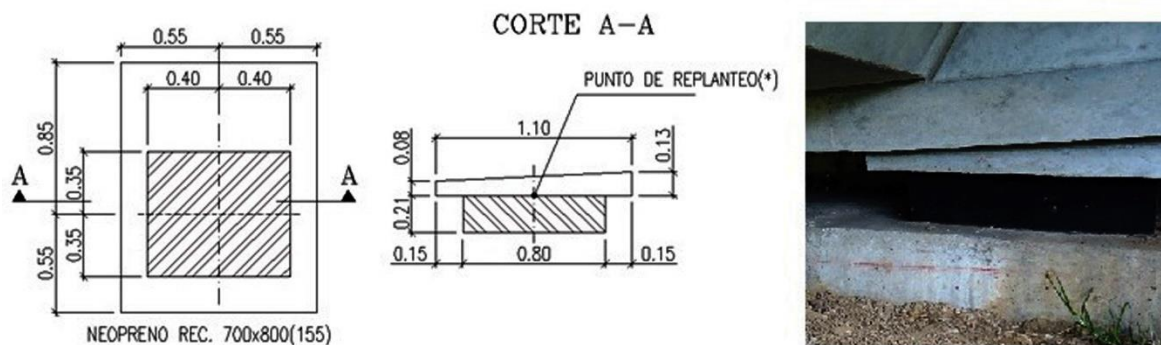


Figura 4-9. Esquema de apoyos en estribos. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S.

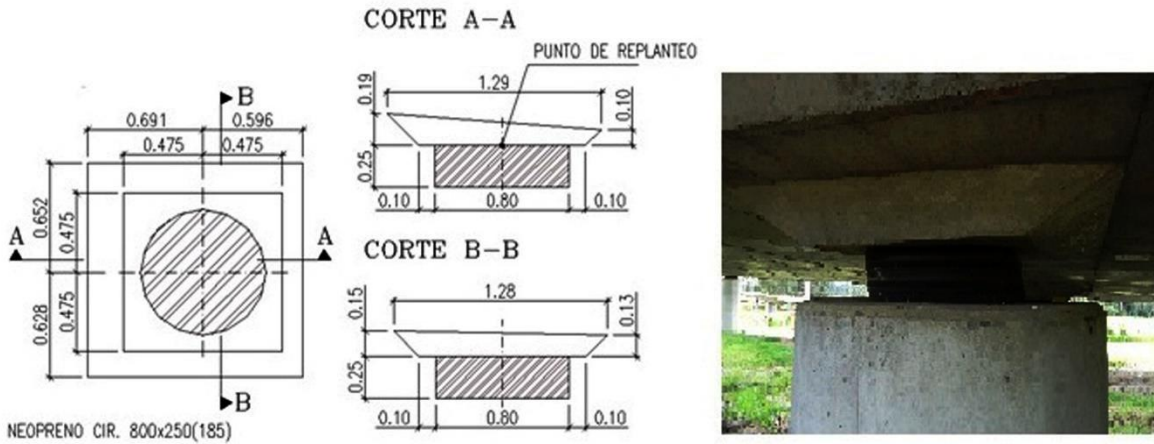


Figura 4-10 Esquema de apoyos en pilas. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S.

Con el suministro de apoyos elastoméricos, los fabricantes realizan ensayos de laboratorio para probar que estos cumplen las especificaciones requeridas. Se realizó un ensayo bajo carga vertical para un apoyo de 0.21 m de espesor y 0.75 m de diámetro, el cual consistió en realizar tres ciclos de carga a una velocidad de 900 kN/minuto, sometiendo el apoyo a una carga máxima de 4500 kN. Estos resultados demuestran que los aisladores se comportan aproximadamente de forma lineal, y el pandeo no es una condición crítica, incluso para 1.5 veces la carga de servicio (en el caso del viaducto Portachuelo, que en condiciones de servicio tiene una carga cercana a los 3000 kN por apoyo).

El comportamiento ante carga horizontal de los apoyos es aproximadamente lineal hasta la falla, y depende únicamente de la geometría del módulo de corte G y de la goma.

Estos apoyos están construidos con goma tipo Chloroprene (Chloroprene Rubber, CR) la cual tiene un módulo de corte nominal de 0.9 MPa. Este valor está certificado por la empresa AGOM International a través de ensayos de laboratorio realizados a muestras de tamaños estándar según la especificación europea EN 1337-3 de 2005 (ver Laboratorio Prove Materiali **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resume los resultados del ensayo de certificación mencionado, que consiste en medir la deformación horizontal de tres tamaños estándar de apoyos elastoméricos sujetos a un incremento controlado de la carga lateral en tres condiciones diferentes: normal, envejecido y baja temperatura, con el fin de calcular el módulo de corte de la goma tipo Chloroprene.

Tipo de apoyo	Condición	Parámetros	Módulo de corte (MPa)
I	Normal	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 19.2 mm	0.9
I	Envejecido	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 19.2 mm	0.87
I	Baja temperatura (- 40C)	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 19.2 mm	1.04
II	Normal	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 48 mm	0.88
II	Envejecido	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 48 mm	0.85
III	Normal	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 90 mm	0.95
III	Envejecido	Esfuerzo vertical = 6 MPa Deformación máxima = 90 mm	0.97

Tabla 4-1. Resultados de ensayo de módulo de corte sobre muestras de goma tipo CR. Fuente: tomado de Laboratorio Prove Materiali, Politecnico di Milano (2008).

4.5 BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (2017). *AASHTO-LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition*.
- AASHTO. (2018). *AASHTO – LRFD. The manual for bridge evaluation*. Estados Unidos.
- AIS. (2014). *Norma Colombiana de Diseño Sismo Resistente de Puentes*. Bogotá, Colombia:: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- AIS. (2019). *Guía para la evaluación de la capacidad de carga de puentes existentes*. Bogotá, Colombia: Comité AIS-200, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Bao, Erber, T., Guralnick, S. A., & Jin, W. L. (2011). Fatigue, Magnetic and Mechanical Hysteresis. *Strain*, 47(4), 372-381.
- Bhaduri, A. (2018). *Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys*. Springer.
- Boyle, R. W., Sullivan, A. M., & Krafft, J. M. (1962). *Determination of Plane Strain Fracture Toughness with Sharply Notched Sheets*.
- Briaud, J. L., Chen, H., Li, Y., Nurtjahyo, P., & Wang, J. (2005). SRICOS-EFA method for contraction scour in fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(10), 1283-1294.

- Erber, T., Guralnick, S. A., Segre, C. U., & Ton, W. (2012). Correlation between the piezo-Barkhausen effect and the fatigue limit of steel. *J. Phys. D. Appl. Phys.*, 45(46), 465002.
- Fisher, J. W. (1977). *Bridge fatigue guide design and details*.
- Galvis, F., Bahamon, M., Muñoz, E., & Rodriguez, J. (2012 C). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL VIADUCTO PORTACHUELO BASADO EN MEDICIÓN DE VIBRACIONES AMBIENTALES. Capitulo 6 del libro de Ingeniería de puentes – tomo 3, .*
- Garcia, L. E. (1998). *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Gay Alanís, L. F. (2016). Infraestructura resiliente: desempeño sostenido en un mundo siempre cambiante. *Revista entre-textos*, 75-84.
- González, J. R., & Vaca, L. F. (2017). Sistemas inteligentes de transporte y nuevas tecnologías en el control y administración del transporte. *Puente*, 9(1), 53-62.
- Guralnick, S. A., Nunez, F., & Erber, T. (2015). Piezo-Barkhausen Emission as an Indicator of the Fatigue Limit of Steel. *J. Eng. Mater. Technol.*, 137(4), 41-54.
- Haldar, A. (2013). *Health assessment of engineered structures: Bridges, buildings, and other infrastructures*. World Scientific Publishing Co.
- Hamill, L. (1999). *Bridge hydraulics*. London: E& FN Spon.
- Hertzberg, R. W., Vinci, R. P., & Hertzberg, J. L. (2012). *Deformation and fracture mechanics of engineering materials*.
- Hunt, B. (2009). *Monitoring scour critical bridges*. Transportation Research Board, Vol. 396.
- Ixumi, M. (1998). *Base isolation and passive seismic response control*.
- Kashefi, K., Zandi, A. P., & Zeinoddini, M. (2010). Fatigue life evaluation through field measurements and laboratory tests. *Procedia Engineering*, 2(1), 573-582.
- Maddison, B. (2012). Scour failure of bridges. *Proceedings of the ICE-Forensic Engineering*, 165(1), 39-52.
- Martínez, J. (2016). *Sistemas de gestión de puentes: Optimización de estrategias de mantenimiento, implementación en redes locales de carreteras*. Tesis doctoral.
- Melville B.W., C. S. (2000). *Bridge scour*. Highlands Ranch, USA: Water Resources Publications.
- Moreno, C., Yamin, L., & Reyes, J. (s.f.). Estudio experimental de aislador sísmico de pendulo a escla reducida. 2006.
- Muñoz, E. (2011). *Ingeniería de Puentes. Tomo 1 y 2*. Bogotá, Colombia: Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana.
- Nielsony, A. (2016). A critical analysis of the Mises stress criterion used in frequency domain fatigue life prediction. *Frat. ed Integrita Strutt.*, 10(38), 177–183.
- Nunez, T., Guralnick, S., & Erber, T. (2015). Una metodología novedosa para identificar el origen y evolución del crecimiento de grietas de fatiga en acero. *Rev. Ing. construcción*, 30(2), 135-146.
- Sagar, S., Parida, N., Das, S., Dobmann, G., & Bhattacharya, D. (2005). Magnetic Barkhausen emission to evaluate fatigue damage in a low carbon structural steel. *Int. J. Fatigue*, 27(3), 317-322.
- Wei, S. R., & Wei, R. P. (2012). Experimental Determination of Fracture Toughness. *Fracture Mechanics, Cambridge University Press*, 50-71.

