

Fuente Fotográfica: <http://rapiarchivo.blogspot.com/2009/11/pupitres.html>

Jorge Emilio Forero Gómez

Esp. en Infraestructura Vial,
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja
Ingeniero en Transportes y Vías,
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja
ingjorgeforero@gmail.com

Nairo Adolfo Prieto Suárez

Esp. en Consultoría Ambiental,
Fundación Universitaria Iberoamericana, Bogotá
Ingeniero en Transportes y Vías, Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia, Tunja
nairop06@gmail.com

Samuel Ignacio Puerto Gil

Esp. en Ingeniería de Pavimentos,
Universidad Católica de Colombia, Bogotá
Ingeniero en Transportes y Vías,
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja
saigpugi@hotmail.com

Comparación de Modelos

Cartillas de puentes y pontones en concreto reforzado

RESUMEN

Este documento relaciona la investigación realizada acerca de las cartillas de modelos de puentes y pontones desarrolladas por diferentes entidades gubernamentales tales, como Ministerio de Obras Públicas y Transporte, MOPT, actualmente Ministerio de Transporte, Fondo Nacional de Caminos Vecinales, FNCV y Secretaría de Obras Públicas de Antioquia. Se comparó con las especificaciones del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, CCDSP-95. En esta fase del proyecto se tomaron las cartillas y se compararon con los requisitos mínimos estipulados en el Código de puentes del 95. Así mismo, se calcularon las sollicitaciones para la luz en estudio (20m) y se verificó la capacidad resistente de la sección de acuerdo con las dimensiones, características de los materiales y cuantías de refuerzo de cada cartilla y se compararon los resultados.

Palabras Clave: cartilla de puentes, código de diseño de puentes, modelos de puentes.

ABSTRACT

This document relates to the investigation primers and pontoon bridge models developed by different government agencies such as Ministry of Public Works and Transportation, MOPT, now the Ministry of Transport, National Roads Fund, FNCV and Secretary of Public Works Antioquia. Compared with the specifications of the Colombian Code Seismic Design of Bridges, CCDSP-95. In this phase of the primers were taken and compared with the minimum requirements of the Code of bridges 95. Also, requests were calculated for light in the studio (20m) and verified the resistance capacity of the department according to the dimensions, material characteristics and level of reinforcement of each primer and compared the results.

keywords Primer of bridges, bridge design code, models of bridges.

I. INTRODUCCIÓN

El país cuenta con puentes de más de 50 años y seguramente su diseño no tuvo en cuenta consideraciones sísmicas, pues éstas sólo se incorporaron desde el año 1995, con el nacimiento del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes – CCDSP – 95, el cual habla estrictamente del diseño estructural de puentes nuevos, dejan como antecedente práctico las cartillas de diseño elaboradas por entidades oficiales desde el año 1960.

En la fotografía 1 se aprecia el puente en concreto reforzado de una luz de 15 metros, construido por el Instituto Nacional de Vías sobre la quebrada La Congay, en la vía Tunja – Páez.

Se sabe que el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes para Colombia, brinda las pautas necesarias para el análisis y el diseño de este tipo de infraestructura, en el cual se especifican los requisitos mínimos, como una adaptación de la American Association of State Highway and Transportation Officials – ASSHTO, que han sido tradicionalmente usadas por diferentes profesionales para su análisis, diseño, construcción y rehabilitación.

Al desarrollar el proyecto de investigación durante los años 2009 y 2010, se pretendió evaluar si las cartillas existentes para el diseño de puentes y pontones, cumplían con los requerimientos de la normativa actual, contenida en el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, del año 1995, ya que el diseño y construcción de las mismas debe ser eficiente y seguro para prestar un beneficio a los usuarios que a diario las utilizan, evitando pérdidas humanas por el colapso de las mismas e inversiones de recursos públicos innecesarias, por reforzamiento o rehabilitación en el corto plazo, durante la vida útil de la estructura.

Los puentes en concreto reforzado de losa y vigas son estructuras muy sencillas utilizadas para sobrepasar obstáculos con luces entre 8 y 27 metros aproximadamente, los cuales están constituidos por un tablero en concreto reforzado, sobre vigas colocadas paralelamente al eje vial a una separación uniforme, presentan como ventajas que son más rígidos, con menores vibraciones, mayor conservación y por ende mantenimiento mínimo; su procedimiento constructivo es ampliamente conocido, pues permite el uso de materiales del ámbito local.

Para realizar la investigación se creó una hoja de cálculo que permitió verificar las condiciones de diseño de capacidad de carga, adoptadas en dichas cartillas y se realizaron las comparaciones con la normatividad actual. Así mismo, se revisaron los parámetros y especificaciones de diseño contenidas en las cartillas, en relación con calidades de materiales, dimensiones, cuantías y durabilidad. Se evaluaron con respecto a la normatividad existente.

Inicialmente, se hizo una comparación de las cartillas existentes del MOPT, FNVC y de la Secretaría de Obras Públicas de Antioquía, ya que son las más utilizadas en la región. Con el resultado de la evaluación se validó que la cartilla del MOPT del año 1998 cumple con las condiciones y parámetros de diseño que rigen en CCDSP - 95.

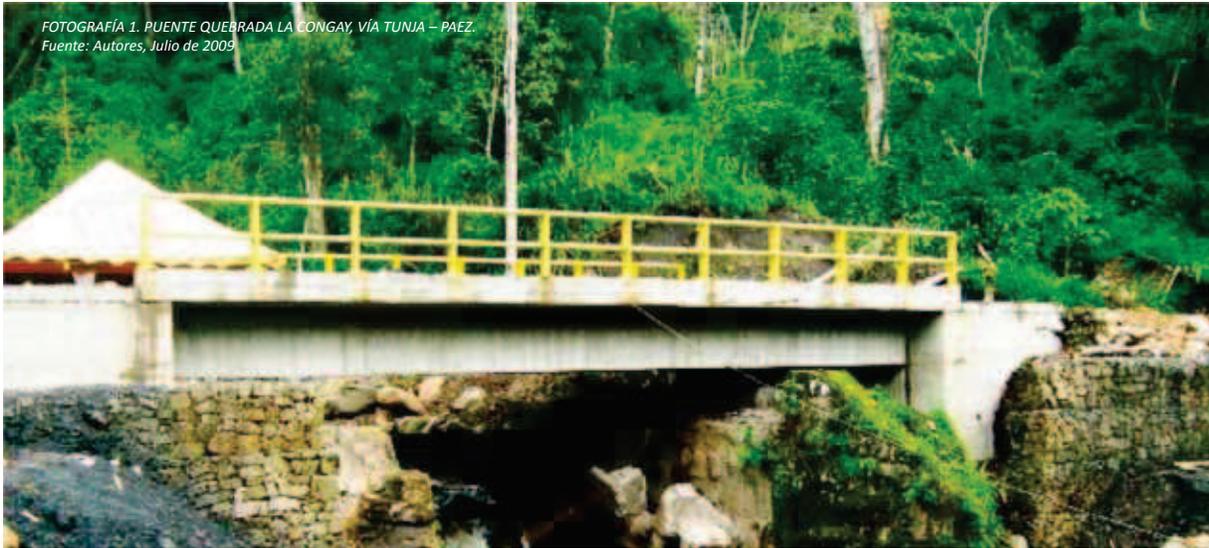
Es de aclarar que el alcance del estudio se limitó a la superestructura de puentes en concreto reforzado para luces entre 10 y 27 metros, que son las más proyectadas y construidas en el país, ver figura 1. Para estructuras de mayor luz o de otro tipo de materiales deben ser diseñadas por un especialista en la materia. La superestructura de un puente comprende todos los componentes que están sobre los apoyos, es decir, superficie de rodamiento, losa, miembros principales (vigas) y miembros secundarios (diafragmas o riostras).

La investigación realizada proporciona en sí una alternativa de diseño consistente que cuantifica racionalmente la variabilidad tanto en carga como en resistencia de los materiales, logrando niveles uniformes de seguridad sin involucrar análisis complejos de probabilidad, para que luego de un análisis estructural metódico se logran realizar comparaciones entre los diferentes modelos descritos en las cartillas, implementadas para el diseño de la superestructura de puentes, principalmente, para la red vial nacional secundaria y terciaria, mediante la comparación de las armaduras a flexión y cortante para una misma longitud de puente.

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE PUENTES DE UNA LUZ, LOSA Y VIGAS EN CONCRETO REFORZADO.



Fuente: Instituto Nacional de Vías, SIPUCOL – 2009



II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La evolución de los códigos y los criterios de diseño de puentes en el ámbito colombiano siempre han estado muy de la mano de los criterios norteamericanos. Existen diseños de proyectos que utilizaron la versión ASSHTO de 1961. Sin embargo, mientras el código norteamericano se ha seguido actualizando de manera permanente con una revisión de fondo cada 5 o 7 años, el colombiano sigue siendo el mismo, de hace 15 años.

Cuando se iniciaron con los proyectos viales de gran tamaño, surgió la necesidad de diseñar y construir obras de arte mayores, para salvar obstáculos naturales como ríos o depresiones, fallas geológicas, etc. Los entes gubernamentales tomaron la iniciativa de darle solución a estos problemas mediante la proyección de obras tipo, de acuerdo con los conocimientos de esa época, los cuales fueron plasmados en cartillas, basadas en normas americanas y adaptaciones nacionales.

La cartilla del MOPT de 1960 “Modelo de Obras de Arte”, la cartilla del FNCV de 1976 “Modelos de Puentes (Caminos Vecinales)” y la cartilla de la Secretaría de Obras Públicas de Antioquia de “Modelos de Puentes para Vías de dos Carriles”, tenían como base el camión HS-20-44 de la AASHTO, como se muestra en la figura 2.

La cartilla del MOPT “TOMO VI - Puentes de placa y viga: Concreto reforzado, concreto preesforzado y alcantarillas de cajón (Reglamento técnico general de Obras Viales)”, del año 1988, fue elaborada para una carga viva de diseño del camión 3-S-2 con una carga total de 40,6 toneladas, como se muestra en la figura 3.

Según Trujillo (2009) “En Colombia, las cargas para

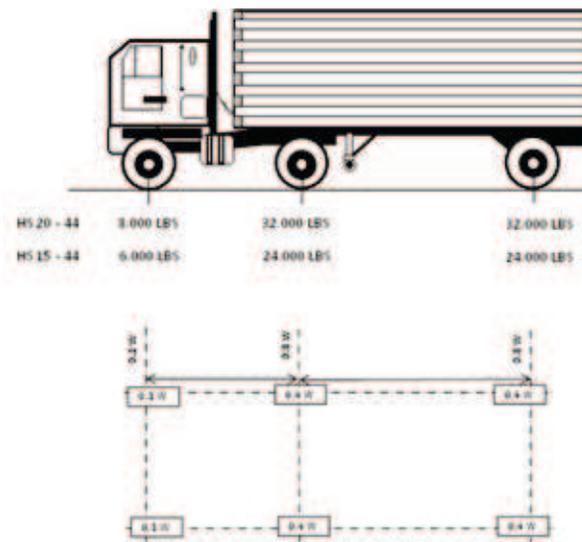


FIGURA 2. CAMIÓN DE DISEÑO. MODELOS DE OBRAS DE ARTE.
Fuente: Ministerio de Obras Públicas - 1960

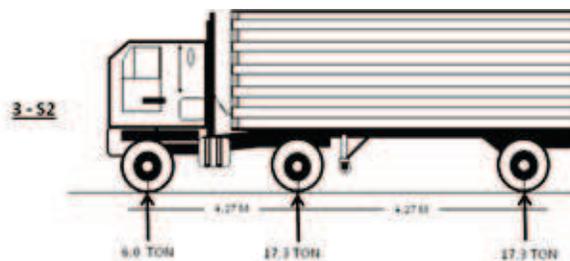


FIGURA 3. CAMIÓN DE DISEÑO. TOMO VI PUENTES DE PLACA Y VIGA.
Fuente: Ministerio de Obras Públicas - 1988

vehículos empleadas hasta junio de 1996, para diseño de los puentes, se apoyaron en las existentes según las normas AASHTO” (p. 31). Como ejemplo se muestra en la Fotografía 2 la prueba de carga que se utilizaba en los años 60 y 80. “En Colombia había sido tradicional asumir para el diseño de los puentes



FOTOGRAFÍA 2. PRUEBA DE CARGA.

Fuente: Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales. UNAL, Manizales. 2006.

los vehículos estándar de la AASHTO, tipo H y HS". El 20 de junio de 1996 el Ministerio de Transporte expidió la resolución 3600 por la cual se adoptó el Código Colombiano de Puentes CCP-95, que en su capítulo A.3 fija el camión estándar y la franja de carga obligatorios para el diseño de los puentes de la red vial nacional.

Las entidades oficiales de las cuales se tiene conocimiento que elaboraron las cartillas fueron el MOPT, en la División de Ingeniería Rama Técnica; el FNCV Subdirección de Ingeniería, Grupo de Estudios y Diseños, y la Secretaría de Obras Públicas de Antioquia, Dirección Técnica División de Estudios y Diseños. Éstas han sido utilizadas por la mayoría de entes territoriales como guía para sus obras, de las cuales algunas se enumeran a continuación:

El MOPT publicó la cartilla "Modelos de Obras de Arte", en el año 1960 y Modelo de Puentes de Placa y Vigas en Concreto Reforzado y Preesforzado, en el año 1988. El FNCV publicó la cartilla Modelo de Puentes (Caminos Vecinales) en el año 1976. La Secretaría de Obras Públicas de Antioquia publicó la cartilla Modelos de Puentes para Vías de los Carriles, en el año 1980.

III. METODOLOGÍA

Toda evaluación debe incluir el aspecto estructural y el aspecto funcional. En el primero, se determina la capacidad remanente de carga, o bien, se define el margen de seguridad entre las acciones aplicadas y las resistencias de los elementos estructurales. En el aspecto funcional, se determinan las capacidades hidráulica y vial del puente y se comparan con las solicitaciones respectivas. Dentro de la evaluación debe, finalmente, incluirse una estimación de la vida remanente del puente, en función de

su capacidad actual y de la evolución prevista de la demanda. Esta estimación es generalmente controlable, pero es necesario realizarla, porque es un dato de entrada para la evaluación económica de alternativas del proyecto.

Para la simulación del comportamiento dinámico de cargas según CCDSP – 95 se elaboró una hoja de cálculo en condiciones limitadas, dada la no verificación sobre un proyecto real de construcción, utilizando el pre-dimensionamiento definido en las cartillas evaluadas, permitiendo que la investigación pueda ser llevada a un entorno más práctico, de tal forma que se pueda observar el comportamiento de la estructura. Así se da la oportunidad de ampliar la temática de estudio e involucrar a más profesionales en el área por profundizar.

Se escogió, para la revisión de las cartillas existentes, una muestra de un puente para una luz de 20 metros, con el fin de comparar los diferentes parámetros que cumplieran con las especificaciones del CCDSP-95 en cuanto a dimensiones, configuración estructural y calidad de los materiales. Así mismo, se procedió a verificar su capacidad resistente de acuerdo con las características geométricas de la estructura, tipo de material y cuantía de refuerzo de acuerdo con los planos disponibles en dichos modelos. Se evaluaron las solicitaciones de acuerdo con el CCDSP -95 y se procedió a comparar dichas solicitaciones con la capacidad resistente de la estructura y se determinó si dicho modelo se encuentra sub-reforzado o sobre-reforzado.

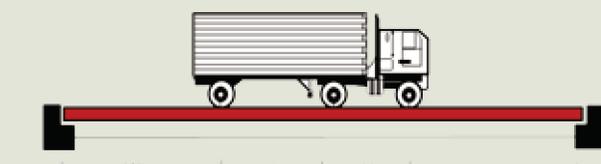


FIGURA 4. POSICIÓN DEL CAMIÓN PARA LA MÁXIMA SOLICITACIÓN EN UNA LUZ DE 20 METROS. Fuente: Los Autores - 2010

Para la evaluación de las diferentes cartillas se creó una hoja de cálculo que agiliza el proceso de evaluación de las solicitaciones. Para la evaluación de momentos y cortantes por carga viva se desarrolló una macro, en la cual se analizaba una línea de influencia en las secciones previamente establecidas y ésta a su vez hacía variar la posición del camión de diseño, hasta obtener la máxima sollicitación por carga viva con la que se elaboró una tabla resumen en la cual se determinó la sección crítica por analizar. Para momento corresponde al centro de la luz, ver figura 3 y para cortante en los apoyos. En los modelos de puentes de dos carriles se utilizó el camión C-40-95 y para un carril el C-32-95. En cuanto a los momentos y cortantes por carga muerta con la geometría de las vigas y losas se evaluaron las cargas y se calcularon los momentos y cortantes actuantes.

Realizada la evaluación se procedió a calcular el porcentaje de impacto por incrementar de acuerdo con el CCDSP-95 numeral a.3.4.3.2 y así mismo, se calculó el factor rueda. Con esta información se calcularon las solicitaciones últimas, de acuerdo con los factores de mayoración establecidos en el CCDSP-95.

Para calcular tanto el momento como cortante, que está en capacidad de soportar la sección del puente, se tomó la distribución de los aceros y se calculó la altura efectiva del refuerzo, así como la cuantía de acero suministrado en el modelo, con los cuales se valoró la capacidad resistente de las estructuras analizadas. De esta manera, se estableció cuáles modelos podían soportar las cargas actuantes y cuáles no estaban en capacidad de soportar las solicitaciones actuantes.

Sólo a la cartilla del MOPT 1988, se le verificó el refuerzo principal y de repartición de la losa y se encontró que cumplía con este requisito. No se calcularon deflexiones, porque la altura de las vigas superaba el mínimo calculado de acuerdo con la tabla a.7.1, CCDSP-95, por lo que no se requiere el cálculo.

IV. RESULTADOS

Durante el desarrollo de la investigación se encontraron que existen 4 cartillas publicadas por el MOPT, el FNCV y la Secretaría de Obras Públicas de Antioquia, donde aparecen modelos tipo, muros de gravedad, muros reforzados, boxculverts, alcantarillas, pontones y puentes en concreto reforzados, cuyas luces varían entre 2 y 27 metros.



De la comparación de las cartillas se obtuvo que las publicaciones del MOPT del año 1960, la del FNCV del año 1976 y la de Secretaría de Obras Públicas de Antioquia del año 1980 no se ajustan a los requerimientos del CCDSP-95, en cuanto a dimensiones de espesor de losa, altura de viga y ancho de carril y ninguna está en capacidad de soportar las cargas actuantes del camión de diseño del CCDSP-95.

De la investigación se tomó como punto de referencia un modelo para puentes en concreto reforzado, para una luz de 20 metros. Para los puentes entre 10 y 20 metros la modelación arrojó que una estructura económica y técnica en referencia a la sección transversal es de 3 vigas. Para luces superiores a 20 metros y hasta 27 metros la configuración arrojó una losa con 4 vigas.

Los resultados que se muestran en las tablas 1 y 2 permiten observar los criterios tenidos en cuenta para la comparación y correspondiente validación y rechazo de los diseños contenidos en las diferentes cartillas.

TABLA I
RESULTADOS COMPARACIÓN CARTILLA
Y CCDSP-95

CARTILLA	h Losa (m)	h Viga (m)	f c (kg/cm ²)	f y (kg/cm ²)	Recubrimiento superior losa (m)	Recubrimiento inferior losa (m)	Recubrimiento estribos (m)	Cumple / No cumple
Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT - 1960)	0,25	1,50	140,00	1.400,00	No Especifica	No Especifica	No Especifica	NO CUMPLE
Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT - 1988)	0,19	1,50	210,00	4.200,00	No Especifica	No Especifica	No Especifica	CUMPLE
Fondo Nacional de Caminos Vecinales (FNCV - 1976)	0,19	1,84	211,00	4.219,00	No Especifica	No Especifica	No Especifica	CUMPLE
Secretaría de Obras Públicas de Antioquia (1977)	0,18	1,61	211,00	4.200,00	0,035	0,025	0,025	CUMPLE
Hoja de Cálculo (autores) Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes 1995 (CCDSP-95)	0,17	1,40	210,00	4.200,00	0,050	0,050	0,038	NO APLICA

Fuente: Los Autores - 2010

TABLA II
RESULTADOS COMPARACION CARTILLA Y
CCDSP-95 MOMENTO Y CORTANTE MAXIMOS

CARTILLA	M max act (ton/m)	M max res (ton/m)	V max act (ton)	V max res (ton)	Cumple / No cumple
Ministerio de Obras Públicas y Transporte - 1960 (MOPT-60)	496,40	222,63	104,30	56,80	NO CUMPLE
Ministerio de Obras Públicas y Transporte - 1988 (MOPT-88)	403,50	525,06	85,70	130,51	CUMPLE
Fondo Nacional de Caminos Vecinales (FNCV-76)	336,40	303,27	71,00	82,00	NO CUMPLE
Secretaría de Obras Públicas de Antioquia (1977)	364,50	359,85	77,90	68,74	NO CUMPLE
Hoja de Cálculo (Autores) Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes 1995 (CCDSP-95)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

Fuente: Los Autores - 2010

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las cartillas existentes se pueden utilizar para proyectos viales con bajos volúmenes de tráfico que no sean de vital importancia para la comunidad beneficiaria del proyecto.

La única cartilla que está en capacidad de soportar las solicitudes del camión de diseño es la del MOPT 88; según los resultados de la investigación. Al momento de construir la estructura se deben respetar los recubrimientos mínimos del código o los que impongan las condiciones ambientales de exposición de la misma, con el fin de garantizar la durabilidad de la estructura.

Con la modelación desarrollada se obtuvo que la cartilla del MOPT, edición 1988, en su versión VI, cumple con las especificaciones y parámetros de diseño del CCDSP-95, con las cuales se pueden proyectar y construir estructuras económicas y seguras definidas en la misma. Sin embargo, en dicha cartilla no están contemplados los andenes, que de acuerdo con la normatividad existente, en materia de accesibilidad y protección de los peatones y discapacitados, que utilizan los puentes en zonas de concentración de peatones, se hace necesario incorporarlos a la estructura, con lo cual se requiere que ésta sea calculada de acuerdo con las solicitudes impuestas a la misma. Por otra parte, cuando se trate de estructuras no establecidas en la cartilla del MOPT 88, se debe realizar el estudio y diseño de la estructura en particular.

Realizada la verificación de la estructura mostrada en el modelo del MOPT 88, se encontró que de acuerdo con el ancho de la calzada de 9.3 metros, permite ubicar dos andenes de 1 metro de ancho, y dejar la misma de 7.30 metros, como lo define el CCDSP-95 evaluadas las solicitudes se encontró que ésta soporta tanto las solicitudes por carga viva del camión, como la del andén.

De lo anterior, resulta claro que la cartilla del MOPT 88, puede ser utilizada en las etapas de prefactibilidad y factibilidad de un proyecto, ya que ésta da una aproximación real de las cantidades finales de la obra, con lo cual se puede elaborar un presupuesto consecuente con la realidad y realizar evaluaciones costo beneficio para determinar la factibilidad de un proyecto determinado, así como la viabilidad financiera estatal,

garantizando que la obra se lleve a feliz término y no que quede inconclusa por falta de recursos, debido a una mala planeación, por la falta de una herramienta adecuada para la ejecución de la obra. Sin embargo, para la etapa de construcción, se deben adelantar todos los estudios correspondientes, tanto de diseño estructural como los geotécnicos, hidráulicos y ambientales del sitio específico donde se emplazará el puente. La utilización de las cartillas y su verificación, para la construcción de un puente debe ser evaluada por un especialista en la materia, quien deberá hacer las correcciones que considere necesarias.

Cuando se emita una nueva norma, es conveniente revisar las cartillas existentes, para evaluar si se ajustan a los requerimientos de la misma, ya que se podrían estar construyendo estructuras inseguras para los usuarios.

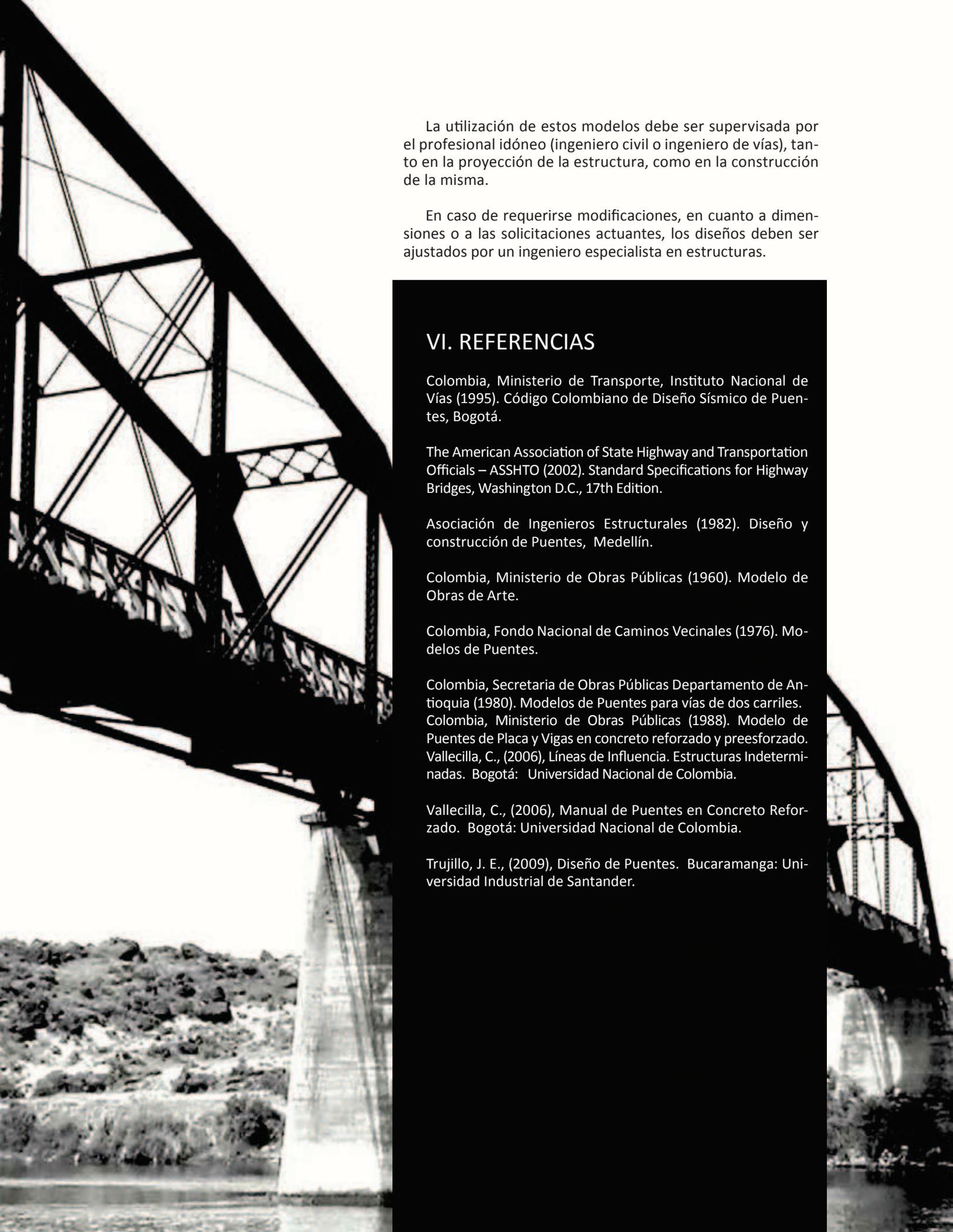
La aplicación que se puede dar al presente artículo es muy amplia, con un alcance tal, que el tema tratado podrá ser utilizado en todo el territorio nacional y así dar una alternativa práctica al diseño de puentes en la infraestructura vial.

Los puentes deben ser considerados como una parte importante del patrimonio en infraestructura del país, ya que son puntos medulares en una red vial, para cualquier sistema de transporte terrestre y en consecuencia para el desarrollo de los habitantes. Preservar dicho patrimonio de daños prematuros desde su concepción, es una de las tareas más importantes de cualquier sistema de administración de carreteras pública o privada. Para ello, es necesario dedicar medios humanos y técnicos suficientes, que permitan tener un conocimiento completo y actualizado de su estado, que posibilite definir el volumen de recursos necesarios para su conservación, y garanticen el empleo óptimo y eficaz de dichos recursos.

Para cualquier estructura, que no se encuentre enmarcada dentro de los parámetros de diseño establecidos en la cartilla, se deben realizar los estudios específicos.

Para el proyecto se deben realizar los estudios de suelos e hidrológicos, y en caso de diferir de los supuestos, se debe realizar el ajuste de los diseños de los estribos.





La utilización de estos modelos debe ser supervisada por el profesional idóneo (ingeniero civil o ingeniero de vías), tanto en la proyección de la estructura, como en la construcción de la misma.

En caso de requerirse modificaciones, en cuanto a dimensiones o a las solicitaciones actuantes, los diseños deben ser ajustados por un ingeniero especialista en estructuras.

VI. REFERENCIAS

Colombia, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías (1995). Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, Bogotá.

The American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2002). Standard Specifications for Highway Bridges, Washington D.C., 17th Edition.

Asociación de Ingenieros Estructurales (1982). Diseño y construcción de Puentes, Medellín.

Colombia, Ministerio de Obras Públicas (1960). Modelo de Obras de Arte.

Colombia, Fondo Nacional de Caminos Vecinales (1976). Modelos de Puentes.

Colombia, Secretaria de Obras Públicas Departamento de Antioquia (1980). Modelos de Puentes para vías de dos carriles. Colombia, Ministerio de Obras Públicas (1988). Modelo de Puentes de Placa y Vigas en concreto reforzado y preesforzado. Vallecilla, C., (2006), Líneas de Influencia. Estructuras Indeterminadas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Vallecilla, C., (2006), Manual de Puentes en Concreto Reforzado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Trujillo, J. E., (2009), Diseño de Puentes. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.