

CAPÍTULO XIII

PUENTES EN VENEZUELA: UNA HISTORIA INCOMPLETA

“.../el Director de la Academia/ ha abierto para los tenientes de ingenieros una clase de puentes colgantes, en atención a ser los de esta especie los que más convienen a la República”

VI Informe de Juan Manuel Cajigal, Director de la Academia, fechado el 2 de enero de 1838 (Correa, 1956, p.48)

“...se caracterizan los siglos XIX y XX de la construcción de puentes, por el conocimiento avanzado de la resistencia de los materiales y de la teoría racional de las estructuras, así como por el empleo técnico de los materiales y el descubrimiento y perfeccionamiento del material más moderno: el concreto armado”

Lección Inaugural de la Cátedra Puentes y Viaductos, UCV, dictada en marzo de 1938 por el doctor José Sanabria (Arnal, 2000, p.10)

RESUMEN

Cuando en 1831 Cajigal emprendió la tarea de formar los profesionales que menos de una década después habrían de reemplazarlo, señalaba en sus Informes al Gobierno la importancia de poder iniciar a los alumnos más avanzados en el diseño de puentes. En su Sexto Informe al Gobierno fechado enero de 1838, anunció que él: *“...aliviado del gran peso que gravitaba sobre sus hombros ...ha abierto para los tenientes ingenieros una clase de puentes colgantes, en atención a ser los de esta especie los que más convienen a la República”*. Exactamente un siglo después, en 1938, el destacado ingeniero José Sanabria dictó la Lección Inaugural de la Cátedra de Puentes y Viaductos en la UCV, lección que por sus enseñanzas reproduce el profesor Eduardo Arnal como Introducción de *Lecciones de Puentes* en su primera edición de 1962, al igual que en la subsiguiente ampliada y revisada de 2000 (Arnal, 1962; 2000).

De modo que bien podríamos tomar como iniciativa primigenia de la Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela, esa decisión del Maestro Cajigal cuando *“...aliviado del gran peso que gravitaba sobre sus hombros”* y gracias al relevo de sus más destacados discípulos, contó con el tiempo necesario para dictar las primeras clases sobre el diseño de puentes en Venezuela. Sin duda, fueron las vías de comunicación con sus puentes los que contribuyeron a unir, comunicar y lograr el sentido de nación. A ellos habría que sumar posteriormente los puentes de los ferrocarriles y, ya entrado el siglo XX, los puentes de concreto armado y pretensado.

Este trabajo forma parte del *Proyecto de la Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela*, iniciativa enmarcada en el *Programa de la Historia de la Ingeniería en Venezuela* que promueve nuestra Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. El trabajo está organizado en las tres partes siguientes: (a) identificación de una muestra de puentes construidos desde mediados del siglo XVIII hasta el presente, la cual se ha dividido en tres grupos: puentes caraqueños, puentes y viaductos ferrocarrileros, y otros puentes y viaductos del sistema vial del país; la información compilada hasta la fecha se acompaña en **Anexos**; (b) aspectos relevantes de la enseñanza de esa especialidad, así

como iniciativas en el dominio de la normalización, incluido un listado preliminar de los profesionales que tuvieron a su cargo las cátedras de puentes y materias afines; (c) ejemplos de adecuación, mantenimiento preventivo y reposición de estructuras de puentes, acompañados de un conjunto de casos que han sufrido severa afectación a lo largo de los últimos dos siglos, bien sea por causas de la naturaleza o por sobrecargas en exceso de las adoptadas en su proyecto.

Desde un comienzo se advierte al lector que esta es una versión preliminar o de estudio, la cual se somete al escrutinio y revisión de nuestros colegas especialistas en los temas que aborda.

XIII.1.- INTRODUCCIÓN

En el seno de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, se ha venido trabajando en el Proyecto de la *Historia de la Ingeniería Estructural*. Una tarea pendiente entre nuestros colegas profesionales, es la obligación de rescatar la memoria de lo que se ha construido, quienes fueron sus creadores y actores, así como las razones por las cuales hemos perdido valiosas estructuras.

Propuestos a rescatar la Memoria de la Ingeniería Estructural, los puentes configuran un tema al cual debemos dedicar nuestra atención. Son obras del hombre que unen, que, en nuestra desconectada Venezuela del siglo XIX, comenzaron a tenderse para interconectar sus múltiples y variadas regiones geográficas. Son las obras que, en sus Memorias al Gobierno sobre lo hecho cada año por la Academia de Matemáticas, Cajigal anunciaba como necesarias.

Lo que aquí se da a la luz pública, tiene como objetivo principal someter al escrutinio de nuestros colegas Ingenieros, Proyectistas y Constructores la información recogida hasta la fecha, de muy variadas fuentes. Entre sus múltiples limitaciones hay dos que deben señalarse como advertencia en descargo de este, llamémoslo, pecado venial de los autores: (i) por sus múltiples y evidentes lagunas, es incompleta; (ii) no goza aún del rigor necesario, por la diversidad de ‘autorías’, ocasionalmente atribuidas a un mismo proyecto. De modo que, al hacerlo público, seguramente facilitará el citado escrutinio.

Antes de entrar en materia, se recogen aquí dos comentarios del libro: *Puentes. Arte y Ciencia*, del ingeniero y profesor dominicano Reginald García Muñoz, nuestro ex-alumno del primer Curso de la Maestría en Ingeniería Sismorresistente en la UCV, durante el año 1973-74. En la preparación de su excelente y bien ilustrado texto (García M., 2001), Reginald se fijó como objetivo dejar: “...un libro que pudiera ser útil al proyectista de estructuras de puentes, para que meditara sobre ideas y conceptos fuera de todo lo cuantitativo y numérico, es decir en el espectro donde la ciencia y el arte se confunden en un todo armónico”. Abona ese objetivo con dos citas de Eduardo Torroja (**Nota 1**). La primera sobre la función del calculista: “*El cálculo estructural no es más que una herramienta para comprobar si las formas y dimensiones resistentes de una construcción, simplemente imaginada ó ya realizada, son aptas para soportar las cargas a que ha de estar sometida*”. No hay duda en esa percepción del maestro Torroja, especialmente por haber sido escrita con anterioridad al uso de modernas herramientas de cálculo automatizado, populares en la actualidad (Torroja, 1960).

En la segunda cita de la obra de Torroja, este apuntó al importante tema de las múltiples incertidumbres, tanto en las acciones actuantes como en las capacidades portantes, cuando anotó: “*Si se conocieran exactamente las cargas a que va a estar*

sometida la construcción, así como la calidad de los materiales, si la ejecución fuera perfecta, si las hipótesis y los métodos de cálculo empleados correspondieran a la realidad y, finalmente, no hubiera posibilidad de error en dichos cálculos, el coeficiente de seguridad podría ser unas décimas superior a la unidad". Hoy, los modernos métodos exigidos para la verificación de la seguridad de las estructuras, incorporan factores de minoración de capacidades, así como los que mayoran las solicitaciones, cuyo origen es precisamente el carácter incierto aludido.

Este **Capítulo** se ha organizado en las siguientes seis partes: (a) Breve nota histórica; (b) Tipos de puentes identificados; (c) Resultados preliminares de la estadística de puentes construidos en el país; (d) Aspectos relativos a la enseñanza de la materia Puentes y las normativas a cumplir; (e) Afectación de puentes por accidentes o fenómenos naturales; (f) Ejemplo de obras de mantenimiento y adecuación. El tema de las líneas y puentes ferrocarrileros, así como el Metro de Caracas, se tratan en el **Anexo A2**; los listados de puentes identificados se dan en el **Anexo B1**.

No sobra advertir, el texto que sigue tiene como objetivo principal, someter al examen de nuestros colegas Ingenieros y Constructores la información hasta ahora recogida de muy variadas fuentes; entre sus limitaciones está las que se dieron al inicio de esta Introducción. En descargo de los autores, esta es una muy amplia materia sobre la cual su literatura es limitada. En obras selectas como es el excelente *Diccionario de Historia de Venezuela* publicado por la Fundación Polar, segunda edición de 1997 en 4 volúmenes, obra de obligada consulta, el tema Puentes no es tratado en las múltiples entradas donde cabría un desarrollo más extenso: Vías, Comunicaciones y Transporte, Obras Públicas, Urbanismo, Caminos y Carreteras. Ocasionalmente, los 'puentes' son mencionados en forma genérica, particularmente en las biografías de Ingenieros ilustres.

En su trabajo (Torres, 2006, pp. 273 y 274) menciona: '*el primer inventario de puentes*', realizado en 1976 por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC); en esa recopilación se informó sobre: el tipo de estructura, las dimensiones, la carga de diseño, la condición del puente el tipo de vía y el año de construcción.

XIII.2.- BREVE NOTA HISTÓRICA

En la reconstrucción de la Memoria de nuestra *Historia de la Ingeniería Estructural*, la consideración de las obras de infraestructura es obligada. Entre ellas, la construcción de vías de comunicación. Prácticamente inexistentes a mediados del siglo XIX, facilitaron la creación y el desarrollo de lo que poco a poco se fue conformando como país. Esto pudo lograrse, en buena medida, con la construcción de puentes.

Se recoge aquí información dirigida a un mejor conocimiento sobre la evolución de esa parte de nuestra Ingeniería Estructural, sus actores y propulsores. Desde los primeros puentes caraqueños, indispensables para desarrollar una trama urbana, cruzada por múltiples quebradas e irregularidades topográficas, hasta lo puentes más modernos sobre el río Orinoco.

Se estima que en Venezuela hay mas de 6100 puentes en servicio (Torres, 2006, p. 273). El interés de esta crónica esta centrada en cuatro grupos de estructuras: (i) los primeros puentes para salvar las fuertes irregularidades topográficas de Caracas y los subsiguientes que acompañaron el crecimiento urbano; (ii) los principales puentes colgantes que comenzaron a cruzar nuestros grandes ríos, los puentes de hierro de la red ferroviaria de fines del siglo XIX hasta las primeras décadas del siglo XX, incluidos los primeros puentes de concreto armado; (iii) la expansión de las redes viales urbanas e interurbanas desde los años 30 hasta finales del siglo XX; (iv) puentes de grandes vanos desde el primer puente sobre el río Caroní en 1964, en adelante.

La información que se da en el **Anexo B1** adolece de incertidumbres en: fechas de inicio, etapas de construcción y/o finalización, así como en la autoría de los Proyectos.

XIII.2.1.- Algunos Puentes del Siglo XIX

En los dos volúmenes que conforman la obra del doctor Arcila Farías (1961), así como en los tres volúmenes sobre las obras públicas del siglo XIX venezolano de Zawisza (1988), se trata con acierto las primeras etapas de la Historia de los Puentes en Venezuela. Además de incluir algunos de los puentes caraqueños, alcanzan a describir e ilustrar los primeros puentes de hierro que se fueron extendiendo por buena parte de la geografía del país. Esa etapa, que culmina aproximadamente en 1935, ha sido meticulosamente revisada y documentada por Mónica Silva Contreras en su tesis doctoral recientemente publicada (Silva, 2009) y es comentada en este **Capítulo XIII**.

El Teque fue un área de expansión de Caracas, una zona llana, hacia la cual se prolongaron las calles Norte construyendo para ello puentes. Corresponde al sector Oeste del Panteón Nacional, hacia Dos Pilitas, donde se encontraba la Quinta Guzmán Blanco. Para ello, por resolución de 1880, se ordenó la construcción de las siguientes obras: (i) un puente de mampostería y madera sobre la quebrada Los Monos en la calle Oeste 1 y continuación de esta hasta unirla con la carretera del Norte; (ii) un puente de mampostería y madera sobre la quebrada Jordán, en la Avenida Oeste 5 y prolongación de esa calle; (iii) un puente de mampostería y madera sobre la quebrada Los Padrones en la calle Norte 8 y extensión hasta la esquina de Amadores. Este proyecto y sus planos fueron elaborados por el ingeniero Pedro R. Fontes.

Al ingeniero norteamericano Henry Rudolff se le encargó un proyecto de viaducto para enlazar el Paseo Guzmán Blanco, hoy Paseo de El Calvario, con la capilla del mismo nombre. El viaducto se construyó de hierro con una longitud de 134 metros por 8 metros de ancho. Fue inaugurado el 26 de abril de 1886. Esta obra facilitó la expansión de la ciudad hacia el Oeste. En la página 139 de Arcila II, se reproduce una foto del Viaducto de El Calvario.

Para mejorar la carretera de occidente, Caracas-La Victoria, esta enlazaba con la calle real de Los Teques, a través de un puente sobre la quebrada Trigo. Entre Los Teques y la quebrada de Camatagua eran indispensables 11 puentes. Ya en el poder Guzmán Blanco, en 1873 se designa una Junta de Fomento presidida por Martín Tovar Galindo, acompañado por José Felipe Machado y Agustín Quevedo, quienes revisan el estado de la vía. Se destaca allí las averías en los puentes.

De igual modo, la ejecución de la carretera hacia el Sur, los valles del Tuy y luego hacia los llanos de Guárico, fue necesario construir un puente de mampostería sobre la quebrada El Encantado. Le seguía en importancia otro puente del mismo material con cubierta de madera sobre la quebrada El Cujicito. Mas hacia el Sur fue preciso construir otros puentes: uno grande en la quebrada de Cisneros, con 24 m de largo, 13 de ancho, y 11 de alto; uno mediano en Maitana y El Corozal, de 10 m de largo, 8 de ancho y 5 de alto; y, finalmente, otro entre Corozal y Agua Fría, de 8 m de largo, 7 de ancho y 3 de alto.

Con la carretera del Este -Caracas-Petare-Guarenas-Guatire-Barlovento-, en el sitio de Turumo, hacia 1872 se construyó un puente con altura de 33 pies desde el fondo de la quebrada. Los cortes tenían en esa parte 13 m. El puente fue de ensamblaje de madera de corazón, sobre apoyos de mampostería y grandes paredones de piedra seca; faltándole apoyo natural hubo necesidad de hacérselo mediante elevados muros que se afirmaron sobre el profundo barranco (Arcila, 1961, II, p. 121). La carretera continuó hacia Caucagua, aún cuando el tramo Caucagüita-Guarenas fue arruinado con la

extraordinaria creciente del río Guarenas del año 1877 (Pacheco, 2002, pp. 78-81). Su importancia económica fue tal que los mismos usuarios emprendieron la reparación de los destrozos.

XIII.2.2.- Inicios del Siglo XX

En el curso de la construcción de la Carretera Central del Táchira, año 1912, se levantó un puente colgante provisional (**Nota 2**).

En la página 58 (Arcila, 1961, II) se reproduce una foto de un puente de hierro, en la carretera Central del Táchira. Con bases de mampostería se indica como construido en 1912. La foto de la página siguiente parece ser el mismo puente sobre la quebrada Chacona, carretera Central de Táchira, durante el paso de una máquina aplanadora.

En el sitio denominado Quebrada Seca se señala un puente sobre el río Manzanares en Cumaná. Constaba de dos aberturas de 10 m y una central de 20 m. Sus pilas y estribos estaban ya terminados para setiembre de 1913; las vigas y el piso de madera fue suplido por los vecinos.

En 1914, el puente sobre el río Caurimare en la carretera Caracas-Guatire, fue ampliado con una estructura de concreto armado.

En la *Memoria* del MOP de 1921 el ingeniero Luis Vélez -Ministro en los períodos 1915 a 1922 y 1933 a 1935- explicó como se resolvieron los problemas de los puentes que fueron necesarios para desarrollar la carretera hacia el occidente del país: la denominada carretera trasandina. Más de 40 puentes para pasar grandes ríos, que exigieron cubrir tramos de hasta unos 300 m de anchura, con vanos de 150 m, regímenes de crecidas muy desiguales, crecientes con mucho material sólido de arrastre, lo cual dificultaba establecer estribos intermedios lo suficientemente seguros. La solución de puentes colgantes se dio en la citada *Memoria* en la cual se publicó su *Cartilla para la Construcción de Puentes Colgantes en Madera*, con detalles constructivos (Vélez, 1921).

El ingeniero Hernán Ayala Duarte prestó sus servicios al Ministerio de Obras Públicas (MOP) en varios períodos. El año 1919 se le encargó el proyecto y construcción del puente Ayacucho, el primero en arco de concreto armado ejecutado en Venezuela que se inauguró en 1924 para conmemorar el centenario de la Batalla de Ayacucho. Así mismo, construyó el nuevo puente Sucre y el Puente Gómez, ambos sobre el río Guaire y del mismo tipo. Para ésa época fue el asesor más allegado a los titulares del referido despacho ministerial.

La Junta de Gobierno de 1945 y los 9 meses del presidente electo Rómulo Gallegos, todo ello entre 1945 y 1948, dejó un extraordinario *Plan de Desarrollo Vial* para Venezuela utilizado desde los subsiguientes gobiernos hasta los años 80 y que aún no se ha culminado en su totalidad. En ese Plan aparecieron buena parte de las grandes obras en vialidad, puertos y aeropuertos construidos hasta la fecha en el país.

Finalmente es obligado citar aquí el texto *Lecciones de Puentes* del Profesor Eduardo Arnal: la primera edición del año 1962 y la más reciente, corregida y ampliada, del 2000. En ambas, el autor reproduce como Introducción, ‘por su elevado interés ilustrativo’: “...la lección inaugural de la cátedra ‘Puentes y Viaductos’, dictada en 1938, en la Universidad Central de Venezuela, por el reconocido profesor de esa materia, Doctor José Sanabria, por muchos años Jefe de la División de Puentes y Consultor Técnico General del Ministerio de Obras Públicas”. Al final de esa lección se da una Breve Reseña de los Puentes en Venezuela, los cuales se han incluido en el **Anexo A3** (Arnal, 1962; 2000).

En las dos ediciones del texto del profesor Arnal, este añade a modo de epílogo de la Introducción un complemento titulado: ‘Desarrollo de la construcción de Puentes en Venezuela’, “...por el asombroso avance que....se ha logrado en Venezuela en la construcción de puentes en el período comprendido entre 1940 y 1960”. El de la última edición, 2000, es más completo que el de la primera; se anotan más abajo los puentes citados por el autor, cuya ubicación no siempre es del conocimiento de quienes esto suscriben.

XIII.3.- TIPOS DE PUENTES IDENTIFICADOS

El tema de los puentes empleados en las Líneas Férreas, así como las obras del METRO de Caracas se tratan en el **Anexo A3**.

XIII.3.1.- General

En adición a documentos que estuvieron específicamente dirigidos al proyecto de los primeros puentes, son muy escasos los documentos que tratan el tema del diseño de puentes (Vélez, 1921; Olivares, 1935b). En las *Memorias del MOP* y en artículos publicados en la *Revista del CIV* se publicaron trabajos sobre la materia. Por ejemplo, la descripción típica de los proyectos, la comprobación de uniones de piezas y otras provisiones, se pueden constatar en la *Memoria MOP* 1924, p 75-86.

XIII.3.2.- Puentes de Madera

Los puentes de madera fueron empleados durante el siglo XVIII y XIX como soluciones temporales; son múltiples las citas sobre puentes de madera en Caracas y en el actual estado Vargas. El tiempo demostró que los puentes de madera, aún las más duras -denominadas en Venezuela como ‘*maderas de corazón*’- resultaban inadecuadas. Por esta razón los primeros puentes o pontones de madera construidos en la capital, muy rápidamente fueron sustituidos por obras de mampostería, de las cuales algunas subsisten hoy en día. O sea, su mayor resistencia a las acciones de la naturaleza extendió su vida útil.

XIII.3.3.- Puentes de Mampostería

XIII.3.3.1.- Los ‘Puentes’ Empleados en Acueductos

En la Figura 61 de Arcila (1961, Vol. I, p. 213), se reproduce una fotografía con los: “*Restos imponentes del viejo acueducto de La Victoria*”. En su Figura 62, p. 214, se da la: “*Sección de un antiguo acueducto*”, indicando: “*Sobre los arcos corría el agua por un canal abierto*”. Es posible que este canal abierto hubiese sido hecho de ‘cal y canto’, ya empleado en el siglo XVII como sistema destinado a la distribución de agua de Caracas, (Arcila, 1961, I, pp. 71-75).

Con posterioridad, casi dos siglos más tarde, entre las obras de Valencia, se cita el acueducto de esa ciudad. El ‘Acueducto Construido en 1854’ es tratado en Zawisza (1980, pp. 72 a 74). Esta obra no alcanzó a cumplir sus funciones por limitaciones en el suministro de agua. En las memorias que sobre esta obra presentó el Gobernador de Carabobo a la Diputación Provincial en los años 1855 y 1856 -comentadas por Zawisza, 1980, p. 73- se indica: “...al llegar la línea a la quebrada Camoruco (al norte de la ciudad) y esperando conectarla...con el agua de los Cocos y con la Represa”, estaba previsto “...construir algunos puentes e instalar las tuberías de hierro ya importadas”...Más abajo señala que la extensión de la tubería alcanzaría 5.770 varas (unos 4.800 m) y tendría varias “*arcadas o puentes*”, a base de obras de mampostería y paredones, excavaciones y enladrillados. Un párrafo más abajo, en el texto de Zawisza se describe el sistema y detalla estas arcadas como: “...*siete hermosas arcadas o*

puentes, desde cinco hasta once arcos, seis paredones orificados de mampostería de no pequeña extensión...”.

De lo anterior se desprende que la palabra ‘*puente*’ fue empleada en el sentido de soporte de la tubería, un sistema más moderno que los acueductos del siglo XVII señalados más arriba en la obra de Arcila. Su finalización colocaba al futuro acueducto de Valencia, a la par de obras semejantes como fueron: el dique de Caujarao con su sistema de aducción hasta Coro y el Acueducto de Caracas, ambas obras del ingeniero Luciano Urdaneta. Valga esta aclaratoria, pues el simple enunciado de un ‘*puente*’, pudiera, en algún caso, no estar necesariamente asociado al tema central de este texto (Nota 3).

XIII.3.4.- Puentes Metálicos

Si bien los puentes ferrocarrileros, por las fechas en que se construyeron y por haber sido esencialmente contratados en el exterior, fueron metálicos, con posterioridad en el país se han construido notables puentes metálicos. El último de ellos conforma el nuevo Viaducto N°1 de la Autopista Caracas-La Guaira (Torres et al., 2009) (más información en la **Sección XII.8** de esta Memoria).

En su texto *Lecciones de Puentes* el profesor Arnal distingue los cuatro tipos de puentes metálicos que se dan a continuación (Arnal, 2000, p. 14).

XIII.3.4.1.- De Vigas de Palastro:

- Puente Unare: con 100 m de longitud, en tres tramos de 30-40-30 m de luz

XIII.3.4.2.- De Celosías Superior:

- Puente río Grande en Caucagua-Altigracia, con 1 tramo de 66 m de luz
- Puente Boconó: de 286 m de largo en 3 tramos de 88-110-88 m proyectado para montaje en voladizo
- Puente Guanare-Biscucuy: de 203 m de largo, con tramos de 50 m de luz, sin arriostamiento superior (low-truss)
- Puente Arichuna (estado Apure): de 137 m de largo, con una luz central de 65 m de luz, sin arriostamiento superior (low-truss)

XIII.3.4.3.- De Celosía Inferior:

- Puente Carrizales: un tramo de 60 m de luz, para 4 vías de tráfico
- Puente Uribante: 149 m de largo, con un tramo central de 95 m de altura variable

XIII.3.4.4.- En Arco:

- Puente Manzanares: un tramo de 60 m de arco superior atirantado (bow-string)
- Puente Chama: de 630 m de largo, con cinco arcos bi-articulados de 112 m de luz cada uno

XIII.3.5.- Puentes de Concreto Armado

De igual modo y en el citado texto, el profesor Arnal agrupa e ilustra los puentes de concreto armado en los seis grupos que siguen (Arnal, 2000, p 13 y 14).

XIII.3.5.1.- De vigas Continuas, Momento de Inercia Variable:

- Puente Los Caracas: 3 tramos de 17-26-17 m, con una longitud total de 60 m
- Puente La Gaviota (Autopista Coche-Tejerías): 3 tramos de 10-30-10 m de luz, con pilas inclinadas y estribos abiertos

- Puente en el km 20-350 (autopista Valencia-Puerto Cabello): 3 tramos de 17-36-17 m de luz
- Dispositivo de enlace de las autopistas del Valle y Este-Oeste: tramos N° 1 a 3, N° 15 a 18 y N° 29 a 38, con 45 luces entre 18 y 21 m c/u

XIII.3.5.2.- En Pórtico Bi-articulados:

- Puente Naiguatá: 30 m de luz, placa aligerada
- Puente La Pérgola: 2 tramos de 25 m, con nervios separados independientes
- Puente Paraíso: con sección en cajón, de 31 m de luz
- Paso a dos niveles en km 2-945, Autopista Tejerías –Valencia, con 32.70 m de luz libre

XIII.3.5.3.- De Tipo Cantiliver:

- Puente Roosevelt: un tramo central de 40 m, contrapesado con 2 voladizos
- Puente Cagua: un tramo de 19 m, suspendido de estribos inclinados con voladizos

XIII.3.5.4.- De Viga Gerber:

- Puente sobre el río Neverí: de 270 m de largo, con 7 tramos de 30, 40 y 45 m de abertura
- Tramo N° 14 del Dispositivo de Enlace: con una abertura central de 74 m libres, con un tramo suspendido de 34 m apoyado en 2 voladizos de 20 m de luz

XIII.3.5.5.- Curvos en Planta:

- Puente La Blanca: de 72 m de largo, con 4 tramos de 18 m de luz
- Puente Sicare N°2: de 38 m de largo, con 2 tramos apoyados en una monopila
- Dispositivo Nueva Granada: paso superior de 50 m de largo
- Distribuidores: Avenida Baralt y cruce con Puente Veracruz

XIII.3.5.6.- En Arco:

- Puente Las Hermanas: 88 m formado por 2 arcos gemelos de 22 m de luz cada uno y 4 tramos rectos de 11 m
- Puente sobre el río Tuy en Autopista Coche-Tejarías, con 3 aberturas de 45-105-45 m de luz
- Viaducto La Bermeja con 3 arcos tri-articulados

XIII.3.6.- Puentes de Concreto Pretensado

Las vigas prefabricadas simplificaron la ejecución de tramos elevados, además de un más confiable control de calidad en planta, la eliminación de encofrados en el sitio y esperas de fraguado (Johannson, 1975). Obsérvese que esta es una característica importante en la construcción de muelles, especialmente en áreas con ambientes agresivos por su elevada salinidad, humedad y temperatura. En las normas vigentes se exigen características especiales al concreto para asegurar una compacidad que proteja las armaduras de tales ambientes agresivos (Norma COVENIN 1753, 2006) (**Nota 4**).

En adición al puente sobre el Lago de Maracaibo, de 8272 m de longitud con 135 vanos que incluyen luces centrales de 235 m, y los tramos elevados construidos con dovelas lanzadas, así como de la Nueva Autopista de Oriente, algunos de los puentes de este tipo más renombrados son dados por Arnal (2000, p. 14) (véase el **Anexo A3**,

Sección A3.2.17). Otros puentes de este tipo anotados en el texto del profesor Arnal son:

- Puente Marín: con 2 tramos de 40 m cada uno
- Puente Las Marías: con tres tramos de 25-30-25 m para un largo total de 80 m
- Puente Chururú: de 135 m de largo, con 3 tramos de 45 m cada uno
- Puente Internacional Bolívar: de 315 m de largo, en 15 tramos de 21 m cada uno
- Distribuidor de Tránsito El Ciempiés y ampliación elevada de la Autopista del Este

XIII.3.7.- Puentes Colgantes

Esta es acaso la solución más antigua para el cruce de torrenteras o profundas irregularidades topográficas. No sabemos a ciencia cierta cuando se construyeron los primeros puentes colgantes en nuestro país; muy probablemente se trató de pasos peatonales. Entre los que aparecen citados en la literatura como pioneros en nuestras vías de comunicación, debe citarse el de Lutowski en la carretera Valencia-Puerto Cabello, sobre el río Aguas Calientes, finalizado hacia el año 1845. *“Lutowski tuvo la oportunidad de realizar por primera vez en Venezuela, la construcción de puentes colgantes. No podía usar el hierro sino en cantidades limitadas...para el diseño de aquellas estructuras utilizó las vigas de madera unidas por pernos y sujetas con cadenas”*. La vida útil fue relativamente corta, pues los miembros estructurales portantes de madera, aún apernadas entre sí, se deterioraron rápidamente (Zawisza, 1980, pp. 65-70; 1988, I, pp. 224-225).

XIII.4.- MUESTRA DE PUENTES CONSTRUIDOS EN EL PAÍS

XIII.4.1.- Puentes del Área Metropolitana de Caracas (véase: Anexo B1)

En el **Anexo A3** además de las obras de vialidad y autopistas en el país, también se trata el tema de los grandes puentes. Por sus particularidades, los puentes del área de Caracas se han compilado en el **Anexo B1**. En el texto que sigue se sintetiza la información conocida sobre estos.

XIII.4.1.1.- Introducción

Una capital que se desarrolló en el pie de monte Sur de la cordillera de la costa, a unos 950 metros de altura, flanqueado por alturas de hasta 2720 m, con cursos de agua ocasionalmente torrenciales, presenta particularidades. Lo anterior, en cierta forma resultó agravado cuando se fundó la ciudad. Se seleccionó en ese entonces una cuadrícula Norte-Sur ocasionalmente señalada como ‘damero’, desviada con relación a los rumbos predominantes de esos cursos de agua, Noroeste-Sureste, probablemente controlados por razones tectónicas.

Sobre ese valle fue creciendo la ciudad, inicialmente ajustada a la cuadrícula señalada, desbordando progresivamente las quebradas y cursos de ríos hacia el Este y Oeste. De igual forma tuvo que conectarse al puerto natural, La Guaira, inicialmente por caminos tortuosos y luego por medio de una vía férrea de trazado igualmente irregular.

Adicionalmente, en algunos sitios se encontraron antiguos rellenos posiblemente para nivelar alguna torrentera (**Nota 5**).

XIII.4.1.2.- Caracas: una Topografía Particular. Quebradas y Cursos de Agua

El *Plano Topográfico de una parte del Valle de Los Caracas* (Aristeiguieta, 1913) señala las principales quebradas y riachuelos que drenaban a lo largo de la parte del valle donde nació la ciudad en el siglo XVI, al pie de la vertiente Sur de la Cordillera de La Costa (**Figura 1**). Conjuntamente con planos publicados por Razetti

(1898; 1902), De Sola (1967) y CREOLE (1966), se ha reconstruido en lo posible la secuencia de puentes dispuestos sobre las quebradas, de Oeste a Este, necesarios para el desarrollado la ciudad (**Anexo B1**).

Los cruces de la trama urbana con las irregularidades topográficas han orientado en la identificación de sitios de puentes, pontones, grandes alcantarillas tipo cajón y otras estructuras, en su gran mayoría no citados en textos sobre nuestra capital consultados hasta la fecha (**Nota 6**). Por ejemplo, el paso de la quebrada Caroata por El Silencio, hoy totalmente cubierto, se ha inferido de la foto aérea que, antes de la reurbanización de ese sector de la ciudad, se reproduce en Villanueva (1950), complementado con las descripciones que se dan en De Sola (1988, pp. 183-195).

En la **Tabla XIII.1** se anotan las quebradas y cursos de agua que drenan hacia el río Guaire, identificados como irregularidades que en su momento requirieron obras ad-hoc para su cruce. Es posible que algunos solo reciban agua luego de lluvias torrenciales cumpliendo así la función de drenajes hacia el Guaire; por ejemplo y de acuerdo con los mapas consultados, la quebrada Cienfuegos, aparentemente nace hacia el centro de la ciudad de mediados del siglo XX.

TABLA XIII.1
Ríos, Quebradas o Cursos de Agua del Valle de Caracas
y su Drenaje al Río Guaire (Q. = Quebrada)

Río, Quebrada o Curso de Agua	Afluentes	Ubicación Aproximada	Drenaje al Río Guaire ⁽¹⁾
Q. Agua Salud	Q. La Pólvara, viene del Norte, barrio del mismo nombre	Barrio Agua Salud al Oeste de la ciudad	Drena al río Caroata
Q. Las Tinajitas	Q. Quita Calzón	Parte alta de La Pastora, hacia el Sur	Drena al río Caroata
Q. Los Monos		Oeste del valle	Drena a la quebrada Los Padrones
Q. Los Padrones (Q. de Leandro, en el mapa de 1810)	--	Cantón el Teque y parte alta de La Pastora ⁽²⁾ . Se pierde en la trama urbana al Norte de Pineda a Cuartel Viejo (mapas: 1906 y 1933) ⁽³⁾	Drena a la quebrada Caroata según el mapa de Aristeiguieta (1913); entre Solís y Marcos Parra (Villanueva, 1950)
Q. o río Caroata	Q.: Los Monos, Agua Salud y Los Padrones	Esta quebrada nace en Catia y su curso es paralelo a la Avenida Sucre. En Pagüita toma la dirección Sur pasando por debajo de la actual Plaza Miranda.	Sur de la parroquia San Juan
Q. Cienfuegos	---	Santa Rosalía	A la altura de Santa Rosalía
Q. Punceres (Punceles) ('Revine de la Trinité', en: Depons, 1801)	----	San José	Drena al Catuche
Río Catuche	Recibe Q. Punceres, al Norte del Puente La Romualda	La Puerta de Caracas, La Pastora, Altagracia, Santa Rosalía	A la altura de Santa Rosalía
Q. Cotiza,	----	Cotiza-San Bernardino	Drenan al Gamboa

Q. Caraballo y Q. Cotizita			
Q. Gamboa	----	San Bernardino	Drena al río Anauco
Q. Teñidero. 'Ravine des Marauties', según Depons		Sensiblemente paralela a la Q. Punceres en el mapa de Depons (1806). También se traza en el plano de de 1876, sin nombre de autor	Drena al río Anauco, unas 2 a 3 cuadras al Sur de la Avenida Este.
Río Anauco	Recibe Q. Caraballo y Q. Gamboa, a la altura de San José-San Bernardino	La Pastora, Santa Rosalía	A la altura de Santa Rosalía
Q. San Bernardino		San Bernardino	Drena a Q. Honda
Q. Honda	---	Simón Rodríguez, Quebrada Honda	A la altura de Q. Honda-Los Caobos
Q. Canoas		Sarría, Santa Rosa	Santa Rosa
Q. Maripérez	Afluentes por la margen izquierda, sin nombre	Simón Rodríguez, Maripérez	Los Caobos
Río Valle	----	El Valle, Los Chaguaramos	San Antonio-Bello Monte, margen derecha
Q. Chacaito	---	Country Club	Drena a Q. Chapellín
Q. Chapellín	Q. Chacaito que viene del Country Club	Alta Florida, Chapellín	Bello Monte
Q. de Baruta	----	Lomas del Club Hípico	Puente Veracruz, margen derecha
Q. Seca	----	Altamira, La Castellana, Bello Campo	La Carlota
Q. Sebucán	---	Parque Sebucán	Drena en Q. Pajaritos
Q. Pajaritos (¿idem Q. Quintero?)	Q. Sebucán	Los Palos Grandes, La Floresta	La Carlota
Q. Agua de Maíz	---	Los Chorros, Montecristo	La Carlota
Q. Tócome	Varios afluentes del Norte, por Lomas de Los Chorros	Lomas de Los Chorros	California Sur
Río Yaguara	----	El Mirador del Este	Colinas de Los Ruices-El Llanito, margen derecha
Q. Camburí	---	Horizonte	California Sur
Río Caurimare	Q. Pasaquire y Q. La Aguada, Colinas de El Ávila	El Marqués, La Urbina	Lebrún
Q. La Guairita	----	La Trinidad	Canteras de Miranda, margen derecha

- (1) Las quebradas anotadas, drenan al río Guaire por su margen izquierda salvo indicación contraria. (2) El Teque fue un área de expansión de Caracas, una zona de poca pendiente, hacia la cual se prolongaron las calles Norte construyendo para ello puentes. Corresponde al sector Oeste del Panteón Nacional, hacia Dos Pilitas, donde se encontraba la Quinta Guzmán Blanco. (3) Por esa zona hay otra quebrada no identificada en los planos consultados, de nombre Jordan.

XIII.4.1.3.- Trama Urbana

El trazado ortogonal de calles Norte-Sur y Este-Oeste, obligó a cruzar una misma irregularidad topográfica, varias veces. De ahí, que en 1784, el Procurador General de Caracas calculaba que se necesitaban por lo menos 25 puentes para ‘*salvar los barrancos*’; para esa fecha existían cinco. Durante el siglo XVIII destacan siete puentes, esencialmente de mampostería, sea ladrillos con o sin bases de piedra (**Nota 7**).

Por su configuración y por la densidad urbana, la gran mayoría de los puentes no quedaron a la vista; los más visibles son aquellos que cruzan el río Guaire. Si nos limitamos a la llamada zona Metropolitana, desde mediados del siglo XVIII hasta el presente la población debe haberse multiplicado por 200 ó 300, con extensas áreas marginales que la rodean. Excluyendo estas últimas que no se han beneficiado de algún tipo de planificación urbana, las áreas urbanizadas no marginales tuvieron que salvar incontables veces quebradas y cursos de agua.

En la **Figura 2** se comprende claramente que la zona urbana de la Caracas de 1800, la cual se describe en el plano de Depons, está limitada entre las quebradas Caroata y Catuche, con posibilidades de trasladarse hacia La Candelaria por el puente de Romualda y al Oeste, hacia la Parroquia San Juan, por el puente San Pablo.

La ciudad que dejó Guzmán hacia fines del XIX ya podía ser recorrida por múltiples calles continuas, en sentido Norte a Sur o bien Este a Oeste, sin que sus habitantes reparasen el esfuerzo humano e ingenio que hubo que desarrollar para lograr esa continuidad. Como muy bien lo señala Zawisza (1988, III, p. 280), se alcanzó 200 años después del plano ortogonal dibujado por Pimentel en el siglo XVI. Esto se aprecia en el plano de Razetti de inicios del siglo XX (Razetti, 1902).

Los principales puentes de la ciudad se dan en el **Anexo A1**. Para mayor facilidad en su manejo, se han separado según el río o quebrada que salvan. Aún cuando algunas de las fuentes de información se consideran más confiables (Zawisza, 1988, tres tomos; Arcila Farías, 1961, 2 tomos) no siempre se indica con precisión: ubicaciones, profesionales responsables del proyecto, fechas de construcción y/o inauguración.

De acuerdo con la información que reproduce Silva (2009, p. 127), entre 1872 y 1882 en Caracas se construyeron más de 25 puentes. En esos diez años, el casco urbano se había extendido aproximadamente un 30% sobre sus linderos de 1873. Para 1876 había 19 puentes (17 de mampostería y 2 de hierro). En 1891 Caracas pasó a tener 40 puentes por encima de quebradas y barrancos.

XIII.4.1.4.- Número de Puentes Identificados en la Zona Metropolitana

En la **Tabla XIII.2** se contabiliza el total de puentes anotados en el **Anexo B1**. El total de 221 estructuras –incluidos los proyectos presentados como Tesis de Grado - en el lapso que va desde los más antiguos sobre la quebrada Catuche (1773), hasta los más recientes, son: puentes de mampostería, metálicos, de concreto en pórticos o en arcos, vigas de concreto, prefabricadas o no. Obsérvese que el total de puentes que se da en la última columna de esa tabla se ha obtenido, ocasionalmente inferido, en las planos de la ciudad. La penúltima columna se refiere a estructuras cuya denominación es conocida.

Arnal (2000, p. 12) destaca la sustitución de viejos puentes metálicos caraqueños a partir del año 1942. Así: “*Puente Hierro, Dolores y Paraíso se sustituyeron por estructuras de concreto armado, hiperestáticas, y la aparición de nuevos puentes tales como el arco y pórtico doble a la entrada de la Ciudad Universitaria, los pórticos del Puente Lincoln, Puente Roosevelt, Puente Las Mercedes, los arcos múltiples en esviaje del puente de la Autopista del Este sobre el río Guaire, las separaciones de rasante en la Avenida Fuerzas Armadas, Avenida Sucre, Los Caobos y tantos otros que han*

marcado el derrotero de superación que condujo al Viaducto Nueva República, con sus arcos de concreto precomprimido de gran esbeltez". Cita además el profesor Arnal otros puentes emblemáticos en el país: los tres viaductos de la autopista Caracas-La Guaira, el puente sobre el río Chama, la esbeltez del dispositivo de enlace de las Autopistas del Valle y Este-Oeste, y el puente sobre el Lago de Maracaibo, el viaducto Las Bermejas y el puente colgante sobre el río Orinoco.

TABLA XIII.2
NÚMERO DE PUENTES IDENTIFICADOS
EN LA ZONA METROPOLITANA DE CARACAS

Quebrada, Río o Curso de Agua	Número de Puentes, Pontones o Cajones Identificados ⁽¹⁾		Total de Puentes. Entre Paréntesis número de Estructuras que requieren Información sobre Fecha de su Construcción
	Anteriores a 1900	Posteriores a 1900	
Río Guaire	9	16	39 (14)
Q. Los Monos	1		1
Q. Agua Salud		1	1
Q. Las Tinajitas			2 (2)
Q. Caroata	7	2	18 (9)
Q. Los Padrones	3	1	6 (2)
Q. Cienfuegos	3		3
Q. Punceres	3	4	8 (1)
Río Catuche	9	1	18 (8)
Q. Gamboa			0
Q. Teñidero	1		2 (1)
Río Anauco	1	9	12 (2)
Q. Canoa		4	7 (3)
Q. Maripérez		2	5 (3)
Río Valle ⁽²⁾			
Q. Chacaito			2 (2)
Q. Chapellín			8 (8)
Q. de Baruta			0
Q. Seca			12 (Post 1900)
Q. Sebucán			7 (Post 1900)
Q. Pajaritos			11 (Post 1900)
Q. Agua de Maíz	1		8 (7)
Q. Tócome	1	1	10 (8)
Río Yaguara			0
Q. Camburí ⁽³⁾			6 (6)
Río Caurimare			0
Q. La Guairita			0
Otros puentes de Caracas	10	23	35 (2)
Totales:	49	64	221 (108)

(1) Las estructuras subterráneas pueden ser bóvedas o de otros tipos; no se han encontrado descripciones sobre inspecciones hechas a puentes caraqueños. (2) No se han incluido los puentes sobre el río Valle; (3) Grafía original de localidades del estado Vargas hoy conocidas como Camurí.

El doctor Johannes Johannson publicó los conceptos generales para absorber los momentos torsores que se generan en puentes urbanos, fuertemente curvados, con poco espacio disponible para las columnas. O sea, puentes curvos en planta, cuyos extremos son empotramientos en robustos muros, no paralelos. En sus trabajos, el autor explicó

con cierto detalle su proyecto del puente del Helicoide, el cual fue una novedosa solución en su momento. La post-tensión con cables curvos en la sección hueca de concreto armado, permitió absorber los efectos de los momentos torsores con lo cual se evitaron soportes intermedios entre los muros extremos (Johannson, 1960; 1974).

Sobre la afectación de puentes como consecuencia de acciones externas, se da una relación en la **Sección XIII.6**.

XIII.4.1.5.- Observaciones

Aún cuando la información disponible es limitada, hay algunas observaciones que se pueden adelantar con base en el **Anexo B1**.

- 1.- En el valle de Caracas convergen aproximadamente 25 quebradas o cursos de agua, que drenan al río Guaire. Sobre la red de alcantarillado y colectores, la poca información conocida no ha sido mencionada en este **Capítulo**.
- 2.- Del total de quebradas o cursos de agua, 21 provienen de la vertiente Sur de la Cordillera de la Costa y drenan al Guaire por su margen izquierda; los principales tienen rumbos predominantemente entre: Noroeste-Sureste a Norte-Sur. Otros 4 drenan por la margen derecha del río.
- 3.- Se han identificado alrededor de 220 puentes construidos en los últimos dos siglos y medio para salvar irregularidades y cursos de agua, lo cual ha permitido el crecimiento urbano de la ciudad. Algo más de una quinta parte del total anterior fue construido con anterioridad al siglo XX. El total de puentes en la ciudad seguramente excede la cifra de 220 estructuras anota más arriba.
- 4.- Casi todas las estructuras de hierro identificadas se encuentran o encontraban sobre el río Guaire, el cual es cruzado por cerca de cuarenta puentes.
- 5.- En los distribuidores elevados que enlazan las principales arterias viales de la ciudad, se han empleado predominantemente sistemas de vigas de concreto pretensado, prefabricadas.
- 6.- Las interrupciones de servicio más frecuentes, así como daños a los puentes, ha sido consecuencia de precipitaciones torrenciales (véase la **Sección XIII.6**).
- 7.- Salvo casos aislados, no se ha encontrado hasta la fecha estudios sistematizados sobre los puentes de la capital. Por tanto no se posee información suficiente sobre los proyectos más importantes ejecutados y los eventuales requerimientos presentes de mantenimiento.
- 8.- Publicaciones del MOP y del CIV, no han sido revisados de modo exhaustivo. Esa tarea pendiente facilitará la identificación de otras estructuras no mencionadas en el **Anexo B1**.

XIII.4.2.- Puentes en Venezuela, Excluidos los de Caracas y los Ferrocarrileros

Como quedó dicho, los puentes del área de Caracas se dan en el **Anexo B1**. En ese **Anexo** también se da una lista de puentes ubicados en otras áreas del país, con indicación de su identificación, año de construcción cuando es conocido, ubicación de la localidad o río sobre el cual se encuentre y algunos comentarios de interés. La tabla tiene un carácter preliminar, que se presenta para el escrutinio y mejora por parte de los Proyectistas de Puentes y Constructores venezolanos.

El **Anexo B1** también recoge nombres de puentes sobre los cuales no se dispone de información para llenar la segunda columna (año de construcción o inauguración). Los puentes que se han identificado pertenecientes a las Líneas Férreas, así como los del METRO de Caracas, se han compilado en el **Anexo A3**.

XIII.5.- ASPECTOS RELATIVOS A LAS CÁTEDRAS DE PUENTES

XIII.5.1.- Antecedentes

En adición a la construcción de los primeros puentes de Caracas, esencialmente de mampostería o de madera (Arcila Farías, 1961, I, pp. 77-79; 358-359), desde el punto de vista de la Ingeniería Estructural tal parece que la iniciativa del ingeniero Juan Manuel Cajigal fue pionera.

En efecto y tal como quedó dicho en la **Sección XIII.1** de este Capítulo, en la compilación de escritos de Cajigal publicada por don Luis Correa se reproducen los Informes donde Cajigal anuncia el inicio de una cátedra sobre puentes colgantes. No ha de sorprender pues, la construcción de puentes colgantes como el que salvaba el río Turbio en la carretera entre Táchira y Apure, o el que se construyó sobre el río Uribante de 162 m de luz libre, así como otros que se mencionan en el **Anexo B1**. Sobre su diseño se publicó en 1921 la llamada ‘Cartilla’ *Para el Cálculo de Puentes Colgantes Rígidos*, cuyo autor fue el ingeniero Luis Vélez (1858-1935).

XIII.5.2.- Cátedra de Puentes y Obras Afines

Con base en la información publicada por el doctor Alberto E. Olivares, complemento a su muy completa biografía sobre el profesor Luis Ugüeto (Olivares, 1986, pp. 235 a 301), así como los datos biográficos recogidos por el ingeniero José María Carrillo sobre los miembros numerarios de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales que precedieron a los Individuos de Número para 2001 (Carrillo, 2003), se adelanta una lista preliminar sobre profesores que han dictado las materias: Puentes, Viaductos, Vías de Comunicación, Estática Gráfica y Teoría de Estructuras, en universidades venezolanas hasta las primeras décadas del siglo XX.

La información que se da en la **TABLA XIII.3** que sigue, tiene un carácter preliminar, pues no aún no se cuenta con información de todas las Universidades del país (**Nota 9**).

TABLA XIII.3
PROFESIONALES QUE HAN PARTICIPADO EN LA ENSEÑANZA DE LA
MATERIA PUENTES HASTA MEDIADOS DEL SIGLO XX

PROFESOR	INSTITUCIÓN	LAPSO APROXIMADO	MATERIA DICTADA	OBSERVACIONES
Cajigal, Juan Manuel	Academia Militar de Matemáticas	1838	Puentes Colgantes	Primera vez que se dicta esa materia, por considerar que esos puentes son: “... <i>los que más convienen a la República</i> ”
¿	UCV	1872-1895	Cursos de Caminos y Puentes y Canales	En la Facultad de Ciencias Exactas (a partir de 1874), los cursos anotados se dictaban en el tercer bienio (6° año de la carrera)
Urbaneja, Manuel María	UCV	1883-1889	Cálculo Integral y Mecánica Aplicada	
	UCV	Septiembre de 1883	Cursos de Caminos, Ferrocarriles, Puentes y Canales	Se dictaban en el séptimo año de los Estudios de Filosofía
	LUZ	1885	Cursos de Caminos, Canales	Materias dictadas por algunos de los Profesores: Gregorio F. Méndez (1885); Eugenio F. Méndez (1887); Francisco P.

				Andrade (1889; 1890). Declarada en suspenso (1903-1946)
Méndez, Gregorio F.	UCV	1890	Cálculo Integral y Mecánica Aplicada	
Quintero, Felipe	UCV	1891-1892	Cálculo Integral y Mecánica Aplicada	
Ugueto, Luis	UCV	1893-1895; 1900-1905	Cálculo Integral y Mecánica Aplicada	Otras fuentes, distintas a Olivares (1986), señalan que su etapa docente llegó a 1899
	Escuela de Ingeniería	1895-1912	Se anotan las materias previstas en los programas de estudio.	Creación de la Escuela de Ingeniería. Independiente de la UCV. Materias: Caminos (trazado y construcción); Ferrocarriles (trazado, construcción y explotación); Puentes; Túneles
Aguerrevere, Felipe	UCV	1895-1912	Estática Gráfica; Mecánica Práctica	
García, Juan Sebastián	UCV	1896-1899; 1900-1905	Estática Gráfica; Mecánica Aplicada	
Blanco, Armando	UCV	1897-1900	Estática Gráfica; Mecánica Aplicada	
Aveledo, Agustín		1906-1912	Carreteras y Ferrocarriles	
Delgado Palacio, E.	UCV	1915-1922	Puentes y Viaductos	También aparece dictando: Estática Gráfica y Mecánica Aplicada
José María Ibarra Cerezo	UCV	1915-1922	Vías de Comunicación	
Aveledo, Agustín		1906-1912	Carreteras y Ferrocarriles	
Urbaneja Tello, Luis	UCV	1915-1943	Mecánica Aplicada y Resistencia de Materiales	
Pérez, Manuel Cipriano	UCV	1922-1926; 1932-1936	Puentes y Viaductos	
León D., Ernesto	ULA-UCV	1923-1943	Mecánica Racional; Teoría de las Estructuras	
Ayala Duarte, Crispín	UCV	1922-1942	Mecánica Racional; Puentes y Viaductos	
Ayala Duarte, Hernán	UCV	1930	Proyectos de Obras de Ingeniería	
C. Martínez	UCV	1934	Vías de Comunicación	
Sanabria, José	UCV USM	>1935	Puentes	
Hernández	ULA	≤ 1940	Vías de	

Ron, Santiago			Comunicación	
Eduardo Arnal	UCV; UCAB; USB	1942	Puentes; Concreto Armado; Precomprimido;	La UCAB inicia sus actividades en 1952
Henrique Arnal	UCV, UCAB		Puentes	UCAB
¿	Academia Militar de Matemáticas	¿1838?	Puentes Militares (sic), se dictaba en el primer año del tercer bienio	Aprobado el tercer bienio, se obtenía el título de Ingeniero del Cuerpo de Ingeniería con preparación militar /El contenido de esta columna, probablemente relacionada a la primera fila de esta tabla, no se corresponde con los objetivos que expresó Cajigal/
Henry Paris	UCV			Publicó un texto en CD sobre proyectos de puentes en Venezuela

XIII.5.2.1.- Seminario Técnico SIDETUR sobre los Puentes en Venezuela

Una visión actualizada del tema enseñanza de Puentes se da en las Memorias del Seminario Técnico *Los Puentes en Venezuela*, celebrado en Caracas en noviembre de 2001. El contenido de ese evento, organizado y patrocinado por SIDETUR, puede agruparse en las siguientes partes:

- A. *Criterios de Diseño, Normas y Mantenimiento. Propuesta de Norma Venezolana COVENIN para puentes*, ponencia del ingeniero Arnaldo Gutiérrez (pp. 2-22). *La Normativa para el proyecto, construcción y mantenimiento de Puentes*, ponencia del ingeniero Paul Lustgarten (pp. 23-30). *Papel de la Hidráulica en el diseño de Puentes*, ponencia del ingeniero Santos E. Michelena (pp. 31-33); *Recomendaciones para el Diseño y Rehabilitación Sismorresistente de Puentes*, ponencia del profesor William Lobo Quintero (pp. 34-66); *Experiencias en el Mantenimiento de Puentes*, ponencia el ingeniero José Capobianco, (pp. 76-89). Destaca en los trabajos anteriores que en el proyecto de Puentes, las Memorias de cálculo vienen acompañadas de Especificaciones constructivas, de materiales, así como limitaciones de los trenes de carga adoptados en el diseño.
- B. *Aislamiento Sísmico para Puentes*. El ‘Aislamiento Sísmico para Puentes’, ponencia que recoge experiencias de PSN Ingeniería S.C. 67-75, esencialmente dirigidas por el ingeniero Robert Pérez (véase: Pérez et al., 2009). También tratado en la ponencia del profesor Lobo Quintero, contiene un recuento histórico, normas de referencia, tipos usuales, desempeño esperado del conjunto puente-aisladores, requisitos para el diseño, aplicaciones y bibliografía.
- C. *Aspectos Sobre la Enseñanza*. ‘La Enseñanza de Puentes en las Universidades Venezolanas’, ponencia del profesor Eduardo Arnal M. (pp. 90-112). Luego de un breve recuento histórico, en esta ponencia se dan los resultados de una investigación sobre la situación para la fecha de la ponencia realizada entre un grupo de diez Directores de Escuela y el Núcleo de Decanos de Ingeniería (19 universidades), cuyos resultados fueron resumidos por el profesor Arnal.

Con relación al tema de la Enseñanza, el último anotado, el resultado de la consulta para la fecha de la ponencia sobre *La Cátedra de Puentes* revela que esta se dictaba en pocas universidades (UCV, UCLA, UNIMET). Además, actualmente no

figura en los planes de estudio vigentes, salvo algunas excepciones en que se la cita como electiva, sin información sobre el número de inscritos.

- i. Como profesores de esa materia, actuaron distinguidos profesionales que aún permanecen en el cuerpo docente, esencialmente dedicados a otras materias.
- ii. Como soluciones alternativas el doctor Eduardo Arnal propuso allí programarla como electiva, para estudios de post-grado o incluir la temática correspondiente en otras materias relacionadas.

A continuación, en la ponencia del profesor Arnal este trató el *Carácter Formativo de la Cátedra de Puentes*. Destacó el autor que el estudio del proyecto y construcción de puentes tiene una evidente influencia formativa para los futuros ingenieros, dada la amplitud y diversidad de materias que influyen en un buen diseño y realización de un puente.

El profesor Arnal señaló que: “...ese aporte docente se ha visto reducido actualmente...”. El deseo de promoverlo fue motivación para organizar el Seminario que aquí se reseña. Destacó el autor cinco aspectos conceptuales que deben formar parte de una adecuada preparación, los cuales se reproducen a continuación:

- **Hidrología**, cuyo conocimiento es fundamental en la predicción de la frecuencia y magnitud de las crecientes y sus efectos sobre el cauce a pontear (sedimentación socavaciones, meandros), determinantes de la abertura, sección de desagüe y orientación de la estructura.
- **Vialidad**, para establecer la composición y dimensiones de la calzada, en función del tránsito esperado y de la magnitud de las cargas móviles de diseño, la necesaria señalización y medidas de seguridad (iluminación, defensas, separadores, etc.) que sean necesarias para el buen funcionamiento del puente.
- **Análisis Estructural** de la superestructura, lo cual conduce a una adecuada selección del tipo estructural y la determinación de las solicitaciones de carga, con especial énfasis en los efectos de la movilización de la carga variable.
- **Geotécnica**, para el estudio del sub-suelo y la adecuada selección del sistema de fundación, especialmente en los apoyos situados dentro del cauce que pueden estar afectados por fenómenos de socavación.
- **Programación de Obras**, para la selección de los métodos constructivos y de los equipos necesarios durante la realización del puente y la determinación de la secuencia y oportunidad de las unidades de obra, guía fundamental para establecer el presupuesto de la obra.

También incluyó el doctor Arnal en su ponencia, las soluciones propuestas para retomar la enseñanza de puentes destacando la presentación de soportes pedagógicos. Entre estos últimos, detalló el contenido del texto *Lecciones de Puentes* en el cual reprodujeron las Notas de Clase que se distribuían en la Escuela de Ingeniería a los alumnos de las especialidades de *Estructuras* y *Vialidad*, para las cuales se dictaba esa cátedra en los años 40 y 50.

XIII.5.3.- Normas y Especificaciones

En el Seminario SIDETUR recién descrito, el ingeniero Arnaldo Gutiérrez presentó como ponencia una *Propuesta de Norma Venezolana COVENIN para Puentes*, cuyo alcance cubre: Criterios de Diseño, Normas y Mantenimiento (Gutiérrez, 2001).

Se presentó allí una amplia justificación sobre la importancia de ese documento, se reseñaron algunos intentos previos, así como la evolución de las normas extranjeras aplicadas entre los profesionales del país. Destacó allí el ingeniero Gutiérrez que las normas de proyecto y construcción requieren la aplicación de un programa concomitante de control de cargas. Más que un simple índice temático, en ese trabajo se

avanzaron recomendaciones técnicas sobre el contenido de múltiples aspectos a ser incluidos en un documento que pudiera alcanzar un carácter normativo.

Los puentes también han mostrado que pueden ser estructuras vulnerables a sismos. Por ser elementos esenciales de comunicación, deben permanecer en funcionamiento después de la ocurrencia de eventos sísmicos o precipitaciones extremas. Como conclusión del *IV Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*, celebrado en Barquisimeto en Noviembre de 1985, se exhortó al Ministerio de Transporte y Comunicaciones a preparar unas Normas de Diseño Sismorresistente, así como unas Normas de Evaluación y Restauración de Puentes Existentes. Igualmente se recomendó allí adelantar un programa nacional de evaluación y restauración de puentes existentes e instrumentar algunos puentes para registrar su respuesta a los sismos intensos.

Gracias al interés demostrado por el ingeniero José Antonio Uzcátegui S., Director General de Vialidad Terrestre del Ministerio de Transporte y Comunicaciones para ese momento, el profesor William Lobo Quintero presentó en 1987 al M.T.C. una muy completa propuesta de norma (Lobo Quintero, 1987). Los primeros diez capítulos de este trabajo se reprodujeron como Documento “E” en texto publicado por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN, 1997). Los Capítulos 11 y 12, así como los Comentarios y cuatro apéndices, a saber: A. Cargas y sobrecargas. B. Diseño de puentes pequeños. C. Diseño de puentes especiales. D. Ejemplos de aplicación, se entregaron a la Dirección de Estudios y Proyectos de la Dirección de Vialidad Terrestre del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Lobo Quintero, 1987). Esta propuesta para el *Diseño Sismo-resistente de Puentes* hecha al MTC, se preparó con la intención de que el país tuviese un cuerpo calificado de normativas, que contribuyese a darle resistencia y ductilidad a estas importantes estructuras posibles acciones de sismos intensos. Su necesidad ha quedado demostrada en innumerables sismos destructores sucedidos en todos los continentes, a lo largo del último medio siglo.

Años después, en un nuevo trabajo el profesor Lobo Quintero, este describió algunas aplicaciones hechas en el país, complementadas con experiencias adquiridas durante sismos destructores (Lobo Quintero, 1990). La importancia del detallado y las recomendaciones de diseño fueron objeto de atención especial, por parte del mismo autor, en el Capítulo 11 del ya citado texto (ACFIMAN, 1997, pp. 179-196). En otras contribuciones más recientes del autor sobre temas afines (Lobo Quintero, 2000; 2003), se complementan los temas estudiados.

XIII.7.- Manuales de Cálculo

En la Sección **IX.8.4** de esta Memoria se da información sobre los Manuales para Proyectos de Estructuras de Acero. Como complemento a la información que allí se da, se señala aquí que en la primera edición del *Manual de Proyecto de Estructuras de Acero*, C.V. Siderúrgica del Orinoco C.A. (Manual SIDOR), preparado por Celso Fortoul, el Anexo I está dedicado a las vigas de sección mixta acero – concreto según las Normas AASHO vigentes para ese momento. En la segunda edición del Manual SIDOR, publicado en 1982, en el Tomo I, Parte 2 *Especificaciones para puentes*, se incluye un extracto de las *Standard Specifications for Highway Bridges*, 12 edición, 1977, actualizada con los *Interim Specification Bridges* 1978, 1979 y 1980. Y en las Notas complementarias del editor se recoge un comentario sobre las cargas normativas AASHTO y las cargas usuales en Venezuela con las diferentes propuestas de 1960, 1969, 1972, 1976, citando entre las referencias los trabajos de Ayala L. (1969) y Ayala D. (1973).

En el Manual de Estructuras de Acero Tomo I, Properca, septiembre 1997, motivados por el uso que hacía el Taller de Puentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, se incluyeron tablas sobre el uso de los perfiles electrosoldados por alta frecuencia como pilotes hincados y su clasificación por fatiga según las normas AISC 1989. Todo esto respaldado por resultados de estudios experimentales en el campo y en los laboratorios del IMME-UCV, USB y Universidad Experimental “Francisco de Miranda”, que fue presentado en ponencia del ingeniero Arnaldo Gutiérrez (Gutiérrez, 1998).

XIII.6.- AFECTACIÓN DE PUENTES POR ACCIDENTES O FENÓMENOS NATURALES

Según la información que da el profesor Ronald Torres (2006, p. 273), en Venezuela hay unos 6125 puentes en servicio con una longitud total de 93,3 kilómetros. El 66% de los puentes tienen más de 40 años de servicio y el 22 % más de 50 años. Según Torres (2006, p. 274), esto plantea problemas por: “...*el cambio drástico de los trenes de carga en el territorio nacional*”. En efecto, del total de puentes los análisis hechos revelan que el 17% (1061) tienen una alta probabilidad de presentar una condición crítica; es decir, una condición que requiere reparación urgente.

En la preparación de este Capítulo, se ha identificado un conjunto de casos de puentes y viaductos afectados por acciones externas, que van desde 1781 hasta 2009. Algunos han sido reparados o rehabilitados, otros han sido pérdida total. La experiencia demuestra que estas lecciones pueden enriquecer la estrategia preventiva y serán de utilidad en el sustento de indefectibles documentos futuros dirigidos al diseño, mantenimiento y eventual reparación de nuestra infraestructura vial (véase la **Sección XIII.7**).

A continuación y siguiendo un orden cronológico, se ha organizado la mencionada casuística en la **Tabla XIII.4**. No se incluye en esta versión la indicación de fuentes.

TABLA XIII.4
AFECTACIÓN DE PUENTES EN VENEZUELA
COMO CONSECUENCIA DE ACCIONES EXTERNAS ⁽¹⁾

Año	Breve Descripción
1781	Dstrucción del primer puente Carlos III, sobre la quebrada Catuche, hecho de madera el año 1773. En 1783 se reconstruyó en arco de mampostería. Esta creciente también destruyó el puente La Trinidad, aguas abajo, construido en 1775.
1820	Este puente daba acceso a Valencia viniendo de Caracas fue destruido por socavones de las crecientes del río. En 1904 fue reedificado con el nombre de Puente de La Restauración; las nuevas fundaciones se hicieron de concreto.
1844	Puente colgante sobre el río Agua Caliente. Este y otros puentes de esta carretera sufrieron deterioro en poco tiempo y ya para 1856, así lo reconocía el propio Lutowski quién, para esa época, era el director de construcción de esa carretera.
1847	Dstrucción del puente San Pablo, construido el siglo XVIII, por arrastres torrenciales de la quebrada Caroata; el área urbana de El Silencio quedó incomunicada hasta 1852.
1877, 19 de	El río Guarenas sufrió una extraordinaria creciente que arruinó el puente sobre la

setiembre	quebrada Turumo, así como la carretera desde Caugagüita hasta Guarenas.
1877, 22 y 23 de setiembre	Como consecuencia de una gran perturbación en las Antillas, el Guaire se salió de madre. Daños menores en el puente Regeneración o puente de Hierro. En la carretera hacia el Sur, inaugurada en 1875, <i>'dos años después, el paso había quedado obstruido por grandes derrumbes y destruidos la mayor parte de los puentes'</i> .
1878, 4 de octubre	El Puente Nuevo, construido en 1835, fue arrastrado por las crecientes de la quebrada Caroata.
1880	Una creciente del Guaire dañó 15 pilares del puente Regeneración. Reparación a cargo del Ingeniero Manuel Dibble.
1880, 27 de abril	Puente La Quinta sobre el río Cabriales. El día de su inauguración, 27 de abril de 1880, no soportó la carga impuesta: de las 4 mil personas presentes, unas 500 estaban sobre el tablero del puente, sobrecarga que hundió el puente. Fallecieron tres personas y hubo 69 heridos, entre los cuales el proyectista. El puente fue reconstruido inmediatamente después.
1883, 5 de julio	Arrastres torrenciales en la quebrada Tócome, Este de Caracas, destruyeron el puente de la línea de ferrocarril construida un año antes. Una víctima.
1885?	El primer puente Guanábano, sobre la quebrada Catuche, también llamado Puente de Abril hecho de mampostería, colapsó pocos días antes de su inauguración. Este desempeño se atribuyó a asentamientos en las fundaciones. Fue sustituido por un puente metálico importado, lanzado desde la margen Sur de la quebrada.
1892, 7 de octubre	Caudales excepcionales del río Guaire, dañan el puente Regeneración y el puente Constitución aguas abajo. Este último fue sustituido por el puente Sucre pocos años después. Al volcar este puente represó las aguas y el río se salió de madre. Esta crecida generó una situación de emergencia en el ferrocarril Central de Venezuela y, para cruzar el río Guaire, en 1895 se trasladó el conocido viaducto El Rosario. Aguas abajo del mismo río, hacia la estación Arenaza, la creciente destruyó estaciones y arrastró varios puentes del Ferrocarril Central de Venezuela en construcción para esa fecha.
1894, 28 de abril	Como consecuencia de fenómenos de licuefacción generalizada, se perdieron kilómetros de la vía férrea Santa Bárbara-El Vigía; <i>'muchos puentes estaban perdidos'</i> .
1896-1898	Se menciona la reconstrucción del puente Dolores, sobre el río Guaire. No se conoce el origen de los eventuales daños (¿1894?).
1900, 29 de octubre	Caída del puente Paparo sobre el río Tuy, el más notable de esa línea férrea, por efectos del terremoto de esa fecha. Los fenómenos de licuefacción en esa región de Barlovento, fueron generalizados y deformaron la vía férrea en varios tramos de la línea.
1927	Puente sobre el río Monaicito, estado Trujillo. Destrucción del puente por arrastres torrenciales.
1932	Puente (¿vía férrea?) sobre la quebrada Vinchu, cercana a La Ceiba; daños por arrastres torrenciales. ¿Consecuencia del sismo del 14 de Marzo de ese año destructor en La Grita y otras localidades del estado Táchira? Falta verificar.
1938?	El puente sobre el río Chama, construido en 1923, fue dañado <i>'por la última gran crecida del río'</i> . Dudas sobre la fecha de la crecida del Chama.
1943, 03 de junio	Pérdida del puente colgante "Libertador", ubicado entre San Cristóbal y Táriba. En San Cristóbal, estado Táchira, se guarda memoria de la crecida del río Torbes la noche del día jueves 03 de Junio, crecida que destruyó el citado puente diseñado por el Ingeniero francés Gustave Eiffel (1832-1923).
1951, febrero	Las lluvias pertinaces generaron deslaves en la costa del actual estado Vargas. En Macuto, el río del mismo nombre se llevó puentes y tramos del acueducto. Según Vincentelli (1999, p. 254; p. 262) se perdieron los puentes que unen Catia de La Mar con Maiquetía y el puente de Naiquatá.
1964, 6 de	Puente General Rafael Urdaneta, inaugurado en 1963. El 6 de abril, poco antes de

abril	media noche, el barco "Esso Maracaibo" chocó contra las pilas 31 y 32 del puente; estas sufrieron daños severos y, en menor grado, las pilas 30 y 33. Quedó así un espacio abierto de tres tramos de 85 m cada uno. Debido a la oscuridad reinante, varios vehículos se precipitaron al agua con un saldo de más de 10 víctimas. La reparación y reconstrucción fue hecha por Precomprimido en dos meses. En fechas muy posteriores, esta empresa procedió al cambio de tirantes de este puente (Henneberg, 2009). Más información en la Sección X.2.9 .
1979, 3 de julio	El puente Chuspita, estado Miranda, fue dañado por arrastres torrenciales.
1979, 19 de octubre	Puente Jiménez, estado Trujillo, el 19 de octubre de ese año, sufrió daños en los accesos al puente debido a fuertes precipitaciones. /También se encuentra la grafía Giménez/.
19 <i>??</i>	Viaducto La Cabrera, estado Aragua. Continuación del túnel La Cabrera, forma parte de la Autopista Regional del Centro, en el tramo Maracay-Valencia. Esta estructura ha sido objeto de reforzamiento y rehabilitación (véase Sección XIII.8.12).
1987, 6 de setiembre	Día domingo, hacia las 3 PM, se inician los deslaves en la cuenca del río Limón, Maracay. Entre 5 y 6 mil vehículos dañados o enterrados, con balance incierto sobre el número de víctimas. Se reportan tres puentes caídos en la carretera Maracay-Ocumare (véase la Sección X.2.3).
198?	Rehabilitación del viaducto Adolfo Ernst, sobre el parque Los Chorros, construido hacia 1970.
199?	Puente Tazón II, estado Miranda. Perteneciente a la Autopista Regional del Centro, el puente se ubica en una fuerte curva al final de una prolongada pendiente. Partes de la estructura de este puente han sido objeto de un proyecto de rehabilitación y reforzamiento (véase Sección XIII.8.1.1).
1999, diciembre	Como consecuencia de la rotura de la represa de El Guapo el 15-16 de diciembre, se perdieron entre dos y tres puentes aguas abajo en el tramo carretero El Guapo-Cúpira, estado Miranda. Los deslaves en el estado Vargas, afectaron numerosos puentes.
2000, noviembre	Durante ese mes, el puente General Rafael Urdaneta, inaugurado en 1963, recibe el impacto de otro barco; esta vez en la pila 24, sin mayores consecuencias.
2005	Para ilustrar la vulnerabilidad, Torres R. (2006, p 275) señala que durante las lluvias pertinaces de febrero-marzo del año 2005: "...colapsaron 68 puentes, desde la vaguada de febrero en Mérida, Táchira, Trujillo, Guárico, Vargas, Caracas y Miranda, lo cual tiene un impacto terrible en el desarrollo nacional". La afectación de puentes ocasionó serias disrupciones que fueron reportadas por la prensa; en el Anexo B1 se recoge información sobre un conjunto de casos reportados por la prensa local.
2006, 19 de febrero	Inaugurado en 1953, treinta años después se constataron desplazamientos progresivos, consecuencia de un macro deslizamiento adyacente al apoyo Sur (lado Caracas), que comprimió la estructura hasta su derrumbe en febrero de 2006. En 2007 se inauguró un nuevo viaducto con una configuración menos sensible a eventuales movimientos de la ladera Sur. Descripción en Torres P. et al (2009).
2009, 22 de diciembre	Puente Escalante, sobre el río Yegüines, afluente del río Escalante. La prensa reporta que este puente, en la vía Boconó (Táchira)-El Vigía (Mérida), colapsó. Esta estructura metálica, con armadura superior, fue sometida a una sobrecarga que excedía largamente su capacidad portante: una unidad de transporte tipo 'carga larga', con un generador cuyo peso estimado según datos de prensa era de 150 toneladas. La estructura de 'hierro y concreto' se partió en dos y quedó sobre el río (diario El Universal, 23/12/2009/). Se tiene previsto instalar un puente de guerra a partir del día 4 de enero de 2010; los vehículos pesados deben seguir la ruta: El Vigía, Santa Bárbara del Zulia, Encontrados, Coloncito (diario El Universal, 29/12/2009).

2009, 24 de diciembre	La prensa del día 29/12/2009 (El Nacional de Caracas), recoge la información de que, por la misma razón, también se desplomó el puente San Mateo, que dista unos 10 km del puente Escalante viniendo de San Cristóbal. Se informa sobre problemas de mantenimiento en los puentes de la región.
2010, febrero	En la pila 27 del puente General Rafael Urdaneta, inaugurado en 1963, se detectan desplazamientos a nivel de calzada, probablemente debidos al desplazamiento de rodillos de apoyo.
2010, noviembre y diciembre	Afectación del sistema vial del Norte de Venezuela y parte de Los Andes por precipitaciones persistentes. Aún no se cuenta con un balance objetivo sobre la afectación de puentes a nivel nacional.

(1) Hemos contactado proyectistas de puentes, quienes han ofrecido más información sobre este tema: casuística de puentes dañados, proyectos de adecuación y/o reparación.

XIII.7.- EVALUACIÓN DE PUENTES

XIII.7.1.- General

La experiencia demuestra que los puentes son vulnerables a diversos tipos de acciones externas. Entre las de origen natural resultaría larga una lista de puentes afectados por: (i) crecientes extremas del caudal de ríos incluidos los deslaves; (ii) por la acción de los sismos; (iii) sometidos a ambientes agresivos como el caso del Lago de Maracaibo. Igualmente se pueden ejemplificar pérdidas causadas por sobrecargas en exceso de las de diseño, impactos de diferentes tipos de vehículos, mantenimiento inadecuado, fatiga de alto ciclaje y otros.

De aquí que, en la estrategia preventiva para asegurar una cierta vida útil de los puentes en servicio, los resultados de su evaluación a los efectos de las acciones externas como las señaladas han adquirido importancia. No tan solo para asegurar su sobrevivencia, sino para minimizar los efectos de eventuales disrupciones asociadas a la interrupción del servicio que prestan. Es decir, si así lo señalase la evaluación, sería necesario reducir el riesgo de un desempeño indeseable a Hasta alcanzar valores tolerables.

En su trabajo sobre afectación de puentes en Venezuela, Torres (2006, Tabla 15.3) concluye que el número de puentes en condición crítica asciende al 17% del total. Intervenciones o adecuaciones como las que se ilustran en la **Sección XIII.8** de este **Capítulo**, han estado precedidas de cuidadosos proyectos de evaluación con la finalidad de reducir el mencionado riesgo.

XIII.7.2.- Vulnerabilidad

Los resultados de una evaluación suelen cuantificarse en términos de la vulnerabilidad. Es decir, en términos de la probabilidad de alcanzar ‘estados de desempeño no deseables’, condicionado a la ocurrencia de una determinada acción externa. Por ejemplo para el caso particular de los sismos, si el estado de desempeño no deseable se designa como (E_N) y la acción sísmica como (S_i), la vulnerabilidad quedaría cuantificada como la probabilidad condicional de alcanzar el estado $P(E_N)$ dado que ocurra el evento (S_i), lo cual se expresa como $P(E_N/S_i)$. La probabilidad de que ocurra el evento (S_i) se expresa como $P(S_i)$.

La función de distribución acumulada de esta última variable $P(E_N/S_i)$ - probabilidad de no excedencia-, para todos los valores posibles de (S_i), suele denominarse ‘curva de fragilidad’ y frecuentemente es empleada en los estudios de riesgo. En Venezuela, el profesor William Lobo Quintero dirigió la tesis de Maestría del profesor Jorge O, Medina M., miembro del personal docente de la Universidad de Los Andes, titulada: “*Curvas de Fragilidad para Puentes de Acero en Armadura*”. Se

estudió allí la vulnerabilidad de los puentes de acero en armadura, basada en las probabilidades de falla, las cuales se representaron con matrices de confiabilidad y de daños y, gráficamente, con curvas de fragilidad. Además, se analizó la importancia de las uniones parcialmente restringidas (PR) y los cambios en los apoyos. La vulnerabilidad se determinó considerando la variabilidad de las solicitaciones, sobre un puente diseñado con normas anteriores (1941) y un puente tipo PONY TRUSS con enfoque probabilístico (**Nota 10**).

Igualmente y según nos informa el profesor William Lobo Quintero, en 1990 la Dirección General Sectorial de Vialidad Terrestre del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, incorporó el aporte hecho por el profesor de Puentes de la ULA, ingeniero Elio González Barboza. Este, responsable de la cátedra de puentes de ULA, elaboró un documento de 649 páginas, titulado: “*Manual de Evaluación Integral de Puentes Existentes*”. La evaluación se sustenta en un índice denominado “grado de vulnerabilidad”, con los siguientes objetivos de evaluación primaria:

- a. Realizar una base de datos que permita el manejo de la información en forma sistematizada, actualizando los inventarios existentes a nivel nacional.
- b. Conocer en forma preliminar las condiciones de funcionamiento de los puentes evaluados e identificar aquellos en condiciones de emergencia.
- c. Diseñar la estrategia a seguir a nivel nacional para la ejecución de la evaluación detallada de todos aquellos puentes que lo ameriten.
- d. Priorizar en forma preliminar la ejecución de actividades de mantenimiento y la orientación de recursos correspondientes.

Sismos pasados han demostrado que en tramos simplemente apoyados, típico de soluciones a base de vigas prefabricadas, la longitud de apoyo de las vigas sobre las pilas puede resultar insuficiente. Son variadas las medidas preventivas que se han adoptado en diferentes países, algunas de las cuales se dan en el ya citado trabajo del profesor William Lobo Quintero (Lobo Q., 1987).

XIII.7.3.- Riesgo

Si se conviene en que el riesgo queda cuantificado por la probabilidad de que el estado ‘no deseable’ designado como $P(E_N)$, exceda ciertos valores tolerables, para el caso de acciones sísmicas S_i este puede cuantificarse como:

$$P(E_N) = \sum P(E_N/S_i) \times P(S_i)$$

donde los factores de los productos de la sumatoria anterior han sido definidos en la **Sección XIII.7.2.**

En el diseño sismo-resistente de edificaciones e instalaciones industriales, el estado indeseable ‘ruina’ o ‘inestabilidad’ se asocia a probabilidades anuales inferiores a valores del orden de 10^{-3} a 10^{-4} . Cuando la evaluación revele errores gruesos de naturaleza constructiva, insuficiencias dimensionales, o también condiciones vulnerables por falta de mantenimiento, la adecuación se orienta al cumplimiento de las normativas vigentes.

XIII.7.4.- Reducción del Riesgo

El empleo de dispositivos de apoyo con capacidad para disipar energía en pilas de gran altura, permite reducir los efectos de sismos intensos. Esta estrategia, dirigida a la reducción del riesgo asociado a eventuales sismos futuros ha sido aplicada en líneas férreas construidas en los últimos años en Venezuela. Las primeras experiencias se pueden consultar en Pérez et al. (2009).

XIII.8.- EJEMPLOS DE ADECUACIÓN, MANTENIMIENTO Y REPOSICIÓN

Los ejemplos de adecuación que se dan a continuación son dos tramos elevados de la autopista Regional del Centro (Caracas-Valencia). Como obra de mantenimiento preventivo, se ha seleccionado el puente General Rafael Urdaneta -puente sobre el Lago de Maracaibo- que une la costa occidental del lago con la capital de estado Zulia. Finalmente se describe someramente, la reposición del Viaducto N° 1 de la autopista Caracas-La Guaira, que colapsó en marzo de 2006.

Cada uno de los casos que aquí se reseñan brevemente, tiene sus particularidades; algunas son representativas de problemas similares en otros muchos puentes el país.

XIII.8.1.- Tramos Elevados, Autopista Regional del Centro: Caracas-Valencia

XIII.8.1.1.- Rehabilitación y Reforzamiento Estructural del Puente Tazón II

El puente Tazón II fue construido en 1964 y se encuentra ubicado a la salida de Caracas, progresiva 9+800, sobre la Autopista Regional del Centro. El valor estratégico de esta vía es fundamental para el transporte de personas y mercancías y, además, es un medio que forma parte de la seguridad y defensa nacional. El puente se ubica en una curva que no cumple con las normativas de diseño de carreteras, y está al final de una fuerte y prolongada pendiente. Las altas velocidades que desarrollan los vehículos han ocasionado desplazamientos horizontales en la estructura con destrucción de los apoyos de las vigas principales y ha producido numerosos accidentes. Se sintetiza el alcance de esta obra de rehabilitación y reforzamiento, con base al trabajo del profesor William Lobo Quintero, recientemente publicado (Lobo Quintero, 2009).

El puente está constituido por dos estructuras adyacentes (una para cada pista), separadas en la losa de calzada por una junta de dilatación de 2 cm de anchura, la cual las hace independientes. De la inspección detallada hecha en el puente, se observó un mantenimiento deficiente, con numerosas fallas en: vigas, cabeceros y separadores de apoyo, exposición del acero de refuerzo y muestras de oxidación. El proyecto no contemplaba losas de acceso y los drenajes de la losa de calzada descargan las aguas a la estructura, deteriorándola. Las barandas no existen y las defensas sobre la isla central han recibido impactos vehiculares que comprometen su integridad.

La falta de mantenimiento y el exceso de sobrecarga hacen que se acumule un conjunto de deficiencias estructurales, que han agotado la capacidad del puente bajo cargas de servicio; por tanto, dejan muy poco margen de seguridad para la posibilidad de un evento sísmico. Dadas las condiciones de degradación de este puente, la evaluación primaria determinó la necesidad de un proyecto de emergencia, para ser aplicado de inmediato, antes de realizar la rehabilitación.

La evaluación detallada estableció los siguientes aspectos a cubrir: el postensado externo de las vigas principales, el refuerzo de las vigas de cabecero y refuerzo de los cabezales, mejoras en el sistema de recolección de aguas de lluvia, así como la inyección y reparación de grietas. Para cumplir con los requerimientos impuestos por las acciones sísmicas, se tomaron las siguientes medidas: rediseñar nuevos apoyos, aumentar la anchura del asiento de las vigas y colocar topes laterales al movimiento de las mismas, rigidizar las pilas y confinar los nodos de la viga de cabecero, colocar juntas de expansión de mayor movimiento y diseñar losas de acceso en cada estribo. Las recomendaciones que se anotan a están profusamente ilustradas, reflejando así el carácter docente de la contribución que aquí se comenta (Lobo Quintero, 2009).

Aún cuando el puente permanece apuntalado, se tomaron las medidas de emergencia recomendadas.

XIII.8.1.2.- Viaducto La Cabrera

Iniciada su construcción hacia finales de la década de los años 50, este tramo elevado de la Autopista Regional del Centro queda ubicado en el estado Carabobo. Ha presentado problemas que han sido tratados por el ingeniero José Capobianco (Capobianco, 2009). Algunos de ellos son comentados en lo que sigue, sin entrar en los detalles que están expuestos en el citado trabajo.

A partir de 1972 se realizaron trabajos de mantenimiento, entre los cuales se señalan aquí marcados asentamientos en los pilotes de hasta unos 10 a 12 cm, con los consiguientes daños estructurales. Los problemas propios de las fundaciones locales fueron estudiados por el ingeniero José Vicente Heredia (INVIAL, 2004/2005); las características particulares para fundar en los terrenos del área también han sido descritas por el profesor Oscar Ramírez Osío (Ramírez, 2006, p. 181-184). Se identificó que la mayor parte de los pilotes empleados en la obra original, fueron tipo camisa de acero, atacados por la fuerte naturaleza corrosiva del medio. Adicionalmente se emplearon diferentes tipos de pilotes, a lo cual se sumó una profundidad de hincado estimada en menos de 15 m. Esta difiere sustancialmente de las profundidades de apoyo de pilotes dispuestos más recientemente, que alcanza los 32 a 36 m.

Otro problema que se destaca en el trabajo de Capobianco (2009, p. 211) es el de las sobrecargas de tránsito. Al inicio de su puesta en servicio, se dispusieron balanzas para controlar el peso de las cargas rodantes. Cuando esta medida preventiva se abandonó, comenzaron a circular gandolas y camiones con cargas de 3 a 4 veces mayores que el permitido por proyecto.

En el trabajo se dan detalles de las obras de rehabilitación y reforzamiento, tanto de la infraestructura como de la superestructura.

XIII.8.2.- Tareas de Mantenimiento del Puente sobre el Lago de Maracaibo

XIII.8.2.1.- Breve Descripción

En 1956 se abre una licitación pública internacional para un sistema de comunicación entre las dos orillas del Lago, que incluía además el paso de una línea de ferrocarril en medio de los carriles de vehículos automotores. Los proyectos considerados obstaculizaban el paso de grandes buques y a comienzos de 1957 el Gobierno abrió una nueva licitación. En mayo de 1957, Precomprimido C.A., ganó la licitación con una cotización de 329 millones de Bs; luego de los ajustes para suprimir la línea férrea, se iniciaron los trabajos en 1959. Este puente fue puesto en servicio en agosto de 1962.

Con una extensión cercana a 8.7 km, 5 de los 134 tramos atirantados alcanzan luces libre de 235 m. Esencialmente de concreto armado, pre y post tensado, esta estructura está ubicada en un ambiente altamente agresivo, tanto por la salinidad de las aguas del lago como por la elevada humedad y temperatura ambiental. Algunos de los aspectos resaltantes del mantenimiento, que aquí solo se mencionan brevemente, están tratados en detalle en Troconis de Rincón et al (2009). La autora principal de ese trabajo, también fue autora principal del *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*, CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, ISBN 980-296-541-3, Red Temática XV. B, Durabilidad de la Armadura, manual este que fue empleado en la evaluación de la estructura del Puente sobre el Lago.

XIII.8.2.2.- Infraestructura

Las 135 pilas que conforman el puente están apoyadas sobre pilotes de concreto de gran diámetro. Las especificaciones para este material fueron muy exigentes: resistencias de 470 kgf/cm^2 por ser mayoritariamente miembros pre y post tensados, así

como una relación agua/cemento, no mayor de 0.36, seguramente para asegurar una muy baja porosidad.

Como resultado de los estudios hechos, aquellos pilotes que presentan corrosión en la armadura deben ser protegidos con ánodos de sacrificio sumergidos en el lago. Otras partes e los pilotes y sus cabezales, deben ser igualmente protegidos bien sea por ánodos embebidos en mortero o sumergidos para evitar corrientes de interferencia

XIII.8.2.3.- Superestructura

En el citado trabajo de Troconis de Rincón et al (2009) se describe en detalle procedimientos y criterios de evaluación. Las inspecciones visuales revelaron diferentes grados de corrosión de la armadura de refuerzo: especialmente severa en zonas de salpique a corrosión moderada a severa como consecuencia de recubrimiento insuficiente (< 1.5 cm). Los morteros a ser empleados para nuevos recubrimientos son discutidos en el trabajo. Uno de los aportes interesantes tiene que ver con las medidas de velocidad de corrosión ya que identifican las áreas donde la armadura está bajo un proceso de corrosión. Esto permite un diagnóstico adecuado que oriente en las medidas de rehabilitación necesarias.

En el caso particular de las áreas corroídas, se determinaron las pérdidas de sección transversal del acero de refuerzo. Se adoptó como criterio el siguiente: pérdidas de sección $\geq 30\%$ requieren reemplazo de la armadura; pérdidas comprendidas entre 10% y 30% de la armadura original, pueden ser reforzadas, y; pérdidas inferiores al 10% solo procede limpieza y nuevo recubrimiento; estos criterios son similares a los que recomendó el entonces Laboratorio de Ensayo de Materiales (IMME, UCV), hacia finales de los años 50, cuando fue necesaria la rehabilitación de la estructura de concreto armado del Hospital Universitario del Zulia por el uso de arenas salinas en el concreto.

XIII.8.2.4.- Tirantes

Los tirantes son cables de acero galvanizado que sostienen grandes volados de 189 m de largo, en cuyos extremos descansa vigas prefabricadas de concreto pretensado. En 1980 estos cables tuvieron que ser sustituidos debido a la manifiesta corrosión de los mismos. Sobre el desempeño estructural de los tensores en las ménsulas, véase el trabajo de Sarcos y García (1999).

XIII.8.3.- Nuevo Viaducto N° 1 de la Autopista Caracas-La Guaira

XIII.8.3.1.- Breve Descripción del Caso

En 1953 entró en servicio la nueva autopista Caracas-La Guaira: un conjunto de estructuras constituidas por viaductos de gran vano, túneles y un trazado con pendiente inferior al 7%. Reducía a menos de 15 minutos lo que antes tomaba una larga hora de la vieja y sinuosa carretera de montaña. Para la fecha de su puesta en servicio, este viaducto se encontraba entre las grandes obras de ingeniería vial.

En el caso particular de los viaductos, su proyectista, el Ingeniero Eugene Freyssinet, dejó una cuidadosa descripción sobre los problemas del sitio del Viaducto N° 1 (Freyssinet, 1953). Tres aspectos destacan en ese texto del proyectista: (a) la adopción de un arco biarticulado, en lugar de la más frecuente configuración de tres articulaciones, por razón de ‘ser una zona sísmica’; (b) el sistema constructivo de los arcos, hechos en el terreno e izados posteriormente hasta alturas de unos 70 m, a fin de evitar la construcción de cimbras; esto, más laborioso, para evitar el riesgo de volcamiento ‘por los vientos ciclónicos’ que azotan el Caribe (**Nota 11**); (c) la configuración particular del apoyo Sur (lado Caracas) del viaducto N°1, fundado en

pilas verticales e inclinadas, excavadas a mano hasta 20 m de profundidad, vistas las características desfavorables del terreno; esta solución difería del apoyo Norte (lado La Guaira), un gran bloque de concreto apoyado en el terreno, con la bien conocida articulación Freyssinet.

De modo que este singular testimonio sobre los criterios de diseño y constructivos, propio de un experimentado proyectista de puentes como fue Freyssinet, publicado el mismo año de la inauguración de tan magna obra, hecha por tierra cualquier crítica hecha sin el debido sustento.

XIII.8.3.2.- Arrastramiento de los Cerros de Gramoven

Inspeccionada con posterioridad al terremoto de 1967, la estructura no mostró daños visibles. Años después, se constataron daños en áreas del pavimento cercano al extremo Sur del viaducto. Con el tiempo se comprobó que esto era resultado de la interacción de la estructura de concreto y un macro-deslizamiento en la vertiente Norte del barrio Gramoven y sus laderas, áreas invadidas por viviendas informales. Esta materia es tratada en la introducción a las *Relaciones Históricas* sobre esta estructura, recientemente publicadas (Martínez, 2009). Señala allí el autor, que el empuje generado por el arrastramiento de los cerros de Gramoven fue advertido por el geólogo Hugo Ancieta Calderón en noviembre de 1970. Esto se formalizó en un extenso informe que la Sociedad Venezolana de Geólogos envió al Presidente del CIV, ingeniero Antonio Montbrun Itriago, con fecha 27-05-1988, cuyo texto es reproducido como Anexo N°2 en Martínez op. cit.

En el citado Anexo, se presenta una síntesis de la información geológica conocida para la fecha del proyecto y años posteriores a su construcción, sustentada con numerosas referencias. Igualmente se señala allí que “...*la causa del problema no es natural, por efecto de la meteorización de las rocas metamórficas que afloran en la zona y mucho menos como consecuencia de movimiento tectónico, sino que es producto de un fenómeno de depredación provocada por el hombre, que se llamaría paradormorfismo*”. El origen y significado de este vocablo, como fenómeno simultáneo o subsiguiente a la meteorización o demorfismo, por el cual se devasta un área más o menos extensa hasta cierta profundidad, es explicado en el Anexo N°3 de Martínez, 2009 (pp. 171-173).

En el Anexo N°4 de las *Relaciones Históricas*, comunicación fechada el 2 de abril de 1990, el Presidente de la Sociedad Venezolana de Geólogos y del Grupo de Estudio de esa Sociedad, expresó serias dudas sobre la estrategia adoptada por los órganos del Estado para resolver el problema. Igualmente, dejó constancia sobre la no procedencia de inversiones mil millonarias en obras civiles, dado el avanzado estado de devastación de la región de los cerros de Gramoven y circundantes. Para las fechas de esa comunicación, ya se tenía conocimiento de las tasas de desplazamiento del macro deslizamiento de Gramoven.

En efecto, los resultados de: mediciones de deformaciones y desplazamientos, así como los de exploraciones geotécnicas hechas en túneles ad-hoc, puede consultarse en el muy detallado trabajo del Salcedo (2006). Mediciones hechas en el período junio 1987 a enero 1988, revelan tasas de desplazamiento del macro-deslizamiento del orden de 1 cm/mes (Salcedo, 2006, Fig. 13.11). Los efectos de las compresiones generadas en los apoyos del viaducto dieron lugar a un ascenso en la parte central del mismo que, para inicios de los años 90, era del orden de 25 cm; pocos días antes de su fractura, el ascenso había alcanzado 163 cm.

XIII.8.3.3.- Ruina del Viaducto

Sobre los estudios geotécnicos hechos durante 20 años Salcedo (2006) presentó una síntesis ampliamente documentada. Igualmente, las intervenciones que se ejecutaron en la estructura y sus apoyos para alargar la vida de la estructura de concreto quedaron descritas en el trabajo de Camargo Mora (2006).

Durante 2005 se concluyó que el desplome del viaducto era inevitable. Se construyó entonces una vía provisional para cruzar la llamada quebrada de Tacagua. El domingo 19 de marzo de 2006, la estructura colapsó. En el citado trabajo del Profesor Camargo, se discute el mecanismo de ruina y se acompaña con ilustraciones del momento de la falla.

XIII.8.3.4.- Nuevo Viaducto N°1

A continuación se presenta una breve síntesis del proyecto y construcción del nuevo viaducto, muy bien descrita en Torres et al. (2009). La solución se fundamentó en las siguientes premisas: (i) fundar la nueva estructura en estratos rocosos estables; (ii) ubicar las fundaciones y pilas fuera de la zona afectada por el macro-deslizamiento u otros problemas geotécnicos; (iii) diseñar acorde con el alto riesgo sísmico de la zona; (iv) utilizar un proceso de ejecución confiable y rápido sin afectar el tráfico de la autopista. Sin duda todas importantes para asegurar su estabilidad en el tiempo y a la vez satisfacer la presión de los usuarios de esa vía, esencial para el día a día de la población que habita a ambos lados del viaducto.

XIII.8.3.4.1.- Solución Constructiva

La solución constructiva adoptada fue la de un puente rectilíneo, con tres vigas metálicas de alma llena de unos 5 m de altura, lanzado desde el lado Norte, cota más baja. Esta viga continua con una anchura de 22,4 m, fue construida por secciones prefabricadas en los talleres Vhicoa de Puerto Ordaz. Estas se fueron conectando en el patio de montaje ubicado en el extremo Norte, hasta alcanzar una viga continua con una longitud total de 803 m. En el trabajo de Torres et al. (2009) se tratan los problemas de montaje y alineamiento, así como la necesaria liberación de tensiones residuales en los miembros portantes.

Una vez concebida la ubicación del nuevo viaducto, fue posible proceder al trazado y ejecución de una Vía de Contingencia que salvara la quebrada de Tacagua, con anterioridad a la previsible ruina del viaducto original; este desvío temporal mantuvo la autopista operativa, con la inevitable lentitud en la circulación de los vehículos por reducción de su velocidad.

XIII.8.3.4.2.- Fundaciones y Pilas

La solución de puente lanzado, permitió limitar el número de pilas, las cuales quedaron fundadas en roca, del lado Norte de la quebrada; se minimizó así el riesgo de afectación por problemas geotécnicos. El total de pilas, todas construidas con encofrados deslizantes, fue de 7, con alturas entre 55 y 65 m, salvo la más cercana al lado Caracas que alcanzó unos 20 m. De este modo el total de tramos fue de ocho: el primero de 78 m (lado Norte), seis de 110 m y el último de 65 m (lado Sur).

Las fundaciones quedaron literalmente empotradas en la roca por medio de micropilotes inyectados, de gran capacidad, una novedad en nuestro país. Se evitaron así riesgos constructivos y eventuales demoras. Detalles de este sistema de fundación, así como resultados de ensayos in situ, se dan en Torres et al (2009, pp. 236-240).

XIII.8.3.4.3.- Tablero y Puesta en Servicio

Ayudado el conjunto de vigas metálicas que constituyen la superestructura sobre los apoyos definitivos, se procedió a la colocación de las losas del tablero. Estas, previamente prefabricadas en los Valles del Tuy y almacenadas del lado Caracas, se fueron colocando simultáneamente en ambas pistas; de este modo las grúas oruga podían avanzar en el sentido de Sur a Norte.

Tal como muy bien se anota en Torres B. et al. (2009, p. 235): “*Pocas obras han sido tan observadas, criticadas y aplaudidas como ésta...diariamente decenas de miles de personas observaban el avance de la obra, desesperadas por las colas e impacientes por ver el viaducto concluido*”. El 21 de junio de 2007, 15 meses después de la ruina del viaducto original, fluía nuevamente el tráfico por la Autopista Caracas-La Guaira.

- - - - -

NOTAS

Nota 1: La primera cita es del bien conocido texto del profesor Eduardo Torroja: *Razón y Ser de los Tipos Estructurales*, en el cual se tratan los temas citados. La segunda también pudiera ser de ese texto. Sin embargo son muchas las monografías publicadas por ese autor español cuando era director del *Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento de Madrid*, luego *Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento*.

Nota 2.- No se ha logrado identificar nombre y localización de resta estructura.

Nota 3: Es el caso de los daños reportados en el acueducto ‘*a cielo abierto*’ de La Victoria. Las aguas arrastraron parte de esa obra, incluido el ‘*punte de Agua Blanca*’, que formaba parte del sistema de conducción de agua (Arcila F. 1961, II, p. 374).

Nota 4.- En la Sección xx, Tabla xx, de la citada Norma se establecen los requerimientos que deben cumplir concretos expuestos a ambientes marinos. Más información sobre el tema en el Capítulo XVII de Porrero et al., (200xx, 2ª edición)

Nota 5: En 1912 se construyó el primer edificio en concreto armado que alcanzó los 12 metros de altura. Destinado a ser el Archivo General de la Nación, el sitio seleccionado para su ubicación fue entre las esquinas de Carmelitas y Santa Capilla (hoy existente, acera Sur de la avenida Urdaneta). El iniciar las excavaciones se encontró un relleno de unos 12 m de profundidad según descripción que se da en Arcila (1961, I, p. 160).

Nota 6: No se trata aquí el tema de Cloacas y Alcantarillado de Caracas. Esa red cruzaba la ciudad siguiendo, donde resultaba conveniente, las irregularidades topográficas. En Arcila F. (1961, I, pp. 433-444) se recoge información sobre grandes cloacas, las ‘cloacas madre’, que seguramente han cumplido funciones portantes similares a los puentes (véase el **Anexo A1**).

Nota 7: Sobre la resistencia de los materiales empleados a fines del siglo XVIII, véase el Apéndice: *Técnicas usadas para la Construcción de Edificios durante la Época Colonial en Venezuela*, cuyo autor es el ingeniero Luis Urbina L., en la obra de Arcila (1961, I, pp. 339-349).

Nota 8.- El viaducto Nueva República, con arcos de concreto precomprimido fue construido por la empresa Precomprimido en 19xx

Noat 9.- La **Tabla XIII.3** tiene limitaciones: (a) no sobrepasa los años 50 y está muy sesgada hacia los profesores de la UCV; (b) omite el nombre de destacados proyectistas de puentes, catedráticos de concreto armado, acero o estructuras, que probablemente incluyeron como parte de su materia el proyecto de puentes. Adicionalmente, se echa de menos una tabla con indicación de los principales talleres especializados en el diseño y construcción de puentes como Van Dam, Pellizari y otros, así como los talleres del MOP en Cagua

Nota 10: De las variables aleatorias consideradas en el citado trabajo, se emplearon la media y la media más o menos la desviación estándar, para representar su variación. Con esos valores se obtuvo una población de modelos que, para diversas solicitaciones, determinan las probabilidades de falla. Se estudiaron las cargas de los camiones AASHTO, los efectos sísmicos, el peso de sobre-pavimentación de los puentes, el deterioro y la corrosión en los

elementos de la armadura. Este trabajo se puede consultar en la *Biblioteca del Departamento de Estructuras* de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes y fue presentado bajo el título de: “Vulnerability of Pony Truss Bridges” en la “*Third International Conference on Earthquake Resistant and Engineering Structures*”, Málaga, 2001. ERES III, University of Malaga, and Wessex Institute of Technology, white press. Southampton, Boston, 2001.

Nota 11.- La técnica constructiva que desarrolló Freyssinet, fue adoptada más recientemente en la construcción del viaducto Mike O’Callaghan-Pat Tillman Memorial Bridge sobre el río Colorado. La obra se ubica al lado del embalse Hoover, que generó el lago Mead. El largo de esta estructura es de 580 m y las piezas fueron izadas 271 m, desde las riberas del río Colorado hasta su posición final. Las precauciones que adoptó Freyssinet para evitar problemas con el viento, exitosas a inicios de los años 50, en este caso no lo fueron tanto pues la obra sufrió demoras por los efectos desfavorables del viento en la zona

Agradecimientos

Buena parte de los textos de este **Capítulo** y de sus **Anexos** han sido posibles gracias a la excelente memoria y permanente disposición a colaborar con este Proyecto, de destacados Ingenieros Proyectistas y profesionales dedicados a la docencia universitaria. A riesgo de que se nos escape algún nombre, la manifestación de nuestro agradecimiento sigue el orden alfabético de sus nombres. Estos son: Aníbal Martínez, Celestino Martínez de La Plaza, Eduardo Martínez, Eduardo Arnal, Eli Abadi, Eudaldo Vila Planes, José Capobianco, José Montañés, José Juan Nieto, Paul y Mauricio Lustgarten, William Lobo Quintero. Vaya también nuestro especial reconocimiento al colega Martín Arnal por su amabilidad al facilitarnos la consulta de la excelente biblioteca de su padre.

REFERENCIAS CONSULTADAS

(Incluye las Referencias empleadas para elaborar el **Anexo B1**)

- ABADI T., E. (1964). La Araña. *Boletín Técnico IMME*. N° 6, 41-46, Caracas.
- ACADEMIA DE CIENCIAS FÍSICAS, MATEMÁTICAS Y NATURALES (ACFIMAN) (1997). *Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios empleados en Venezuela*. Biblioteca de la Academia, Vol XXXIII; una contribución al Decenio para la Reducción de las Catástrofes Naturales. Coord: J. Grases, ISBN 980-6195-03-5 Editorial Binev, Caracas, 662 p.
- ALLEGRET R., J.R. (1997). Caminos y Carreteras. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. I, pp 602-604.
- ARCILA F., E. (1961). *Historia de la Ingeniería en Venezuela*. Dos tomos, Ediciones del Colegio de Ingenieros de Venezuela, editorial Arte, Caracas.
- ARCILA F., E. (1974). *Centenario del Ministerio de Obras Públicas*. Italgráfica, Caracas.
- ARISTEIGUIETA GRULLET, FLORENTINO (19 de marzo de 1913). Firma el: *Plano Topográfico de una parte del Valle de los Caracas 1567*. /En nota a pié de figura dice: *Este dibujo representa la situación probable del campamento español donde fundó la Ciudad de Santiago de León de Caracas, Don Diego de Lozada*/Reproducido en: Von Fedák y Rojas, 2006/.
- ARNAL M., E. (1962). *Lecciones de Puentes*. Facultad de Ingeniería, UCV, edición de 500 ejemplares, noviembre. Caracas, 240 p
- ARNAL M., E. (2000). *Lecciones de Puentes*. Con la colaboración de los Ingenieros: Cecilia Arnal M. y Luis Alfredo Rivero. Altolitho C.A., ISBN 980-07-6910-2. Caracas, 301 p.
- AYALA D., F. (1973). Tren 1972 de cargas rodantes para carreteras. *Revista del CIV*, Caracas

- AYALA L., M. J. (1969). Comparación de las cargas normativas de Proyecto de Puentes con las cargas usuales en Venezuela. *Trabajo Especial de Grado*, Facultad de Ingeniería. UCV, noviembre. Caracas.
- CAMARGO M., R. (2006). Reforzamiento del Viaducto N°1, Autopista Caracas-La Guaira. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I, Cap. XIV, pp251-272, Consulibris, ISBN 980-12-2289-1, Caracas.
- CAPOBIANCO, J. (2009). Viaducto La Cabrera Autopista Regional del Centro. Estado Carabobo. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II, Cap. XIII, pp 205-220, Ediciones CITECI-Consulibris, ISBN 978-980-7081-05-4, Caracas.
- CARRILLO, J. M. (2003). *Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Datos históricos y biográficos*. Colección de Biografías de Personajes de la Ciencia y la Tecnología en Venezuela. Fundación Polar-ACFIMAN, ISBN: 980-379-063-3. Caracas, 160p + índice.
- COMISIÓN TÉCNICA CTXXVIII Transporte, (1997a). Tipología de los Vehículos de Carga Norma COVENIN 2303:1997, FONDONORMA, Caracas.
- COMISIÓN TÉCNICA CTXXVIII Transporte, (1997b). Límites de peso para Vehículos de Carga Norma COVENIN 0614:1997, FONDONORMA, Caracas.
- CORREA, L. (1956). *Escritos Literarios y Científicos de Juan Manuel Cagigal*. Homenaje del Gobierno Nacional, segunda edición, Imprenta Nacional, Caracas, 228 p.
- COVENIN (2006). *Norma para Estructuras de Concreto Reforzado*, COVENIN 1753, Fondonorma, Caracas.
- CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1966). *Plano de Caracas*. Escala 1:18.000. Caracas.
- DE SOLA R., I. (1967). *Contribución al estudio de los planos de Caracas: la ciudad y la provincia, 1567-1967*. Comité de Obras Culturales del Cuatricentenario de Caracas, 1967. /Se ha consultado el plano del año 1933/.
- DE SOLA R., R. (1988). *La Reurbanización de El Silencio. Crónica*. INAVI. Caracas, 320 p.
- DEPONS, F. (1801). En: *El viajero Francisco Depons, 1751-1982* de Pedro Grases, Gráfica Americana, Caracas 1960.
- FREYSSINET, E. (1953). Largest concrete spans of the Americas. Three monumental bridges built in Venezuela. *Civil Engineering*, March, 41-44.
- FUNDACIÓN POLAR (1997). *Diccionario de Historia de Venezuela*. 2ª edición, 4 vol. ISBN 980-6397-37-1, Exlibris. Caracas.
- GARCÍA M., R. (2001). *Puentes. Arte y Ciencia*. Ed. Amigo del Hogar, Santo Domingo, 180 p.
- GOBERNACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL (1876). *Plano Topográfico de la Ciudad de Caracas*. Levantado por orden del General Guzmán Blanco en 1875.
- GRASES J., ALTEZ R. y LUGO M. (1999). *Catálogo de sismos sentidos o destructores. Venezuela 1530/1998*. Vol XXXVII, Acad. de Ciencias Físic., Matem. y Nat., y Fac. de Ing. UCV. Ed. Innov. Tecno., ISBN: 980-6195-06-X, Caracas, 654 p.
- GUTIÉRREZ, A. (1998). Experimental studies on fatigue and behavior to corrosion of high frequency (400kHz) welded beams and columns. *Memorias II Congreso Mundial de la Construcción en Acero (2ª World Conference on steel in Construction)*, paper N° 25, 11 al 13 de mayo. San Sebastian, Donostia.
- GUTIÉRREZ, A. (2001) Propuesta de Norma Venezolana COVENIN para Puentes. Memorias del Seminario Técnico *Los Puentes en Venezuela*, SIDETUR, Caracas, Noviembre 2001, pp 1-22.
- HARWICH VALLENILLA, N. (1997). Ferrocarriles. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. II, pp 345-349, Caracas.
- HENNEBERG G., H.G. (2009). Destrucción y reconstrucción del puente “Rafael Urdaneta” sobre el Lago de Maracaibo. En: *Entre Siglo y Siglo*, p 1-13, Décimo Aniversario de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, ISBN 978-980-7106-04-7. Caracas.
- IBARRA C., J.M. Y TORO M., C. (1911). Cálculo de la resistencia del puente de hierro (Caracas calle Sur 5) para el paso del tranvía eléctrico. *Revista Técnica MOP* N°7, julio, p 368-70, Caracas.
- INSTITUTO AGRARIO NACIONAL (1969). Especificaciones para la Construcción de Puentes. División de Ingeniería Rural. Caracas, Agosto, 50 p.
- INVIAL (2004/2005). Proyecto de actualización y reparación del Viaducto La Cabrera, elaborado por los Ingenieros: J. Capobianco; J.V. Heredia, y; G.F. Morassutti, Valencia.
- JIMÉNEZ, G. (1911). Los ferrocarriles de Venezuela, *Revista Técnica del MOP* N° 12, pp 562-573. Caracas.
- JOHANNSON, J. (1960). Puente de concreto pretensado para el Helicoide de la Roca Tarpeya. *Revista del CIV*, N° 286, 13-23, enero-marzo. Caracas.
- JOHANNSON, J. (1974). Introducción de momentos internos de torsión mediante pretensión. *Boletín Técnico IMME*. XI, N°46, 3-26, Caracas.

- JOHANNSON, J. (1975). *Diseño y Cálculo de Estructuras Pretensadas*. Talleres Gráficos Ibero-Americanos, ISBN 84-267-0291-0. Barcelona, 582 pp.
- LOBO Q., W. (1987). *Normas para el proyecto Sismorresistente de Puentes*. Propuesta para el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Caracas, 438 p.
- LOBO Q., W. (1990). Sismo-resistencia de Puentes. Normalización, Aplicaciones y Experiencias. *Memorias Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica*, SOCVIS-UNIMET-AVPC-SIDETUR, Caracas, Junio, 56p.
- LOBO Q., W. (1997). Puentes y Tramos Elevados: Zonas Críticas y Medidas Preventivas. En: (ACFIMAN, 1997), Tema 11, pp 179-196.
- LOBO Q., W. (2000). Diseño Sísmico de Puentes: Estado del Arte, *Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*. N°. 1-34, p 55-71, México, Julio-Diciembre.
- LOBO Q., W. (2003). Diseño y Rehabilitación Sismorresistente de Puentes. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, Vol. 8, N° 1, 49-83. Editores: Alex H. Barbat y Roberto Aguiar, Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
- LOBO Q., W. (2009). Rehabilitación y reforzamiento estructural del Puente Tazón II. Autopista Regional del Centro. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II, Cap. XII, pp 189-204, Ediciones CITECI- Consulibris, ISBN 978-980-7081-05-4, Caracas.
- LOBO Q., W. y CONTRERAS, L. (1988). Bases para la elaboración de unas normas para el diseño Sismorresistente de puentes. *Boletín Técnico IMME*, 22-76, pp 101-141, Caracas.
- MALDONADO-BURGOIN, C. (1997). *Ingenieros e Ingeniería en Venezuela. Siglos XV al XX*. Edición 30º Aniversario TECNOCONSULT, ISBN 980-07-4729-X, Caracas, p 239 + bibliografía.
- MARTÍN FRECHILLA, J.J. (1997). Obras Públicas, siglo XX. *Diccionario de Historia de Venezuela*, Fundación Polar, vol. III, pp 376-388, Caracas.
- MARTINEZ, A. (2009). El Viaducto N°1 de la Autopista de Caracas al Litoral Central. Relaciones Históricas. *Boletín N° 19, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*. ISBN: 1317-6781. Caracas, pp 155-178. /En los 4 Anexos de esta contribución, se reproducen: tres informes y comunicaciones de la Sociedad Venezolana de Geólogos a la Presidencia del CIV de fechas 21-01-1988; 27-05-1988; 02-04-1990; y el texto de una conferencia magistral en la Universidad José María Vargas sobre el Parademorfismo en cuanto proceso geológico/.
- MENDOZA SOLAR, E. (1910). *Plano de la Ciudad de Santiago de León de Caracas en el año 1810*. Basado en otros planos desde 1771 hasta 1843.
- MOP (1938). Los trabajos de puentes en Venezuela de acuerdo al Plan Trienal. *Revista Técnica MOP* N° 81, octubre 1938, p. 1.016.
- MOP (1959). *Manual para Cálculo de Edificios*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios, tercera edición, Caracas. /La primera edición es del año 1942/.
- NUÑEZ, E. B. (1966). *La Ciudad de los Techos Rojos*. Publicaciones del Banco Industrial de Venezuela, Año Cuatricentenario de Caracas, Edit. Arte, Caracas, 297 p.
- OLIVARES, A.E. (1935a). Estudio sobre las cargas que pueden adoptarse en el cálculo de los puentes de carreteras en Venezuela. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 107: 1285-1294, Caracas.
- OLIVARES, A. E. (1986). *Dr. Luis Ugueto: Ingeniero, Astrónomo y Profesor*. Vol. 22, colección Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas, 307 p.
- PACHECO T., G. (2002). *Las iras de la serranía. Lluvias torrenciales, avenidas y deslaves en la Cordillera de la Costa, Venezuela: un enfoque histórico*. Fondo Editorial Tropykos, ISBN 980-325-260-7. Caracas, Enero, 169 p + 1 mapa..
- PAPI, E, editor (1994). *Historia de la Construcción en Venezuela*. Edición conmemorativa del Cincuentenario de la fundación de la Cámara Venezolana de la Construcción, ISBN 980-6107-05-5, Caracas, 350 p.
- PARIS, H. (1993). *Puentes*. Fundación Juan José Aguerrevere del Colegio de Ingenieros de Venezuela. Versión CD, Caracas.
- PÉREZ, R. J., NIETO F., J. J. y SOLÓRZANO B., E. R. (2009). Estrategia de diseño de los Viaductos del tren ferroviario Caracas-Tuy Medio. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II, Cap. XV, pp 243-256, Ediciones CITECI- Consulibris, ISBN 978-980-7081-05-4, Caracas.
- PORRERO J., RAMOS C., GRASES J. y VELÁZCO G. (2004). *Manual del Concreto Estructural*. Ediciones SIDETUR, ISBN 980-6403-66-5, Seleccion C.A., Caracas, 503 p. /Segunda edición en 2008/.

- RAMIREZ O., O. (2006). Fundaciones en las riberas del Lago de Valencia. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I, Cap. X, pp177-196, Consulibris, ISBN 980-12-2289-1, Caracas.
- RAZETTI, R. (1898). *Notas para el código de construcciones en lo relativo al Alineamiento de las Construcciones en la Vía Pública*. /Citado por Arcila Farías, II, p 463 como: *Manuscrito original en la Biblioteca del CIV*, con fecha 7 de febrero de 1898/.
- RAZETTI, R. (1902). *Plano De Caracas i las Parroquias Foráneas*. / El ingeniero Ricardo Razetti Martínez (1868-1932) levantó, entre 1897 y 1929, diez planos de Caracas/.
- REVISTA TÉCNICA DEL MOP (1938) Los trabajos de puentes en Venezuela de acuerdo al Plan Trienal?. *Revista Técnica* N° 81, octubre, p. 1.016.
- RODRIGUEZ M., A. (1997). Comunicaciones y transporte. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. I, pp 948-953, Caracas.
- SALCEDO, D. (2006). El deslizamiento de la Ladera Sur del Viaducto N° 1, Autopista Caracas-La Guaira. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I, Cap. XIII, pp227-250, Consulibris, ISBN 980-12-2289-1, Caracas.
- SANABRIA, J. (1938). Breve Reseña de los Puentes en Venezuela. En: Arnal, E., 1962, Introducción al texto: *Lecciones de Puentes*, donde se reproduce la lección inaugural de la cátedra de *Puentes y Viaductos*, año 1938, dictada por el Profesor José Sanabria.
- SARCOS P., A. y GARCÍA L., H. (1999). Verificación teórico-experimental, del desempeño estructural de los tensores en las ménsulas de las pilas 30 y 33 del Puente sobre el Lago de Maracaibo en Venezuela. *Boletín Técnico IMME*. Vol. 37, N° 3, 26-34, Caracas.
- SILVA C., M. (2009). *Estructuras metálicas en la arquitectura venezolana 1874-1935. El carácter de la técnica*. Ediciones Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV, con la colaboración de Texne, Consultores de Arquitectura, S.A. y el patrocinio de Siderúrgica del Río Turbio S.A. (SIVENSA). ISBN 978-980-00-2573-4, Caracas, 295 p.
- TORRES, R. (2006). Afectación de puentes por condiciones de servicio y/o accidentes. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I, Cap. XV, pp 273-288, Consulibris, ISBN 980-12-2289-1, Caracas.
- TORRES B., P., MARTÍN F., A. y ENGLERT G., C. (2009). Proyecto y Construcción del Nuevo Viaducto Caracas-La Guaira. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II, Cap. XIV, pp 221-242, Ediciones CITECI- Consulibris, ISBN 978-980-7081-05-4, Caracas.
- TORROJA, E. (1960). *Razón y Ser de las Estructuras*. Tercera edición, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, 403 p.
- TROCONIS DE RINCÓN, O. et al. (2009). Evaluación/rehabilitación del Puente sobre el Lago de Maracaibo. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II, Cap. XX, pp 341-362, Ediciones CITECI- Consulibris, ISBN 978-980-7081-05-4, Caracas.
- VACCARI, L. (1997). Juan de Pimentel. *Diccionario de Historia de Venezuela*, Fundación Polar, vol. III, pp. 634-635, Caracas.
- VÉLEZ, L. (1921). Cartilla para el cálculo de Puentes Colgantes Rígidos. *Memoria del MOP, 1921*. Caracas.
- VILLANUEVA, CARLOS RAUL (1950). *La Caracas de ayer y de hoy. Su Arquitectura Colonial y la Reurbanización de "El Silencio"*. Printed in France, s/n.
- VINCENTELLI, A. (1999). *Mis Anécdotas*. ISBN 980-07-6023-7, Publicidad Gráfica León SRL. Caracas, 277 p.
- VON FEDÁK, MIGUEL y ROJAS, GERARDO (2006). *Fuerza de Santiago de León de Caracas*. Oscar Todtmann Editores, ISBN: 980-6028-76-7, Caracas, 142 p.
- ZAWISZA, L. (1980). *Alberto Lutowski, contribución al conocimiento de la Ingeniería Venezolana del siglo XIX*. Edic. Ministerio de la Defensa, Caracas.
- ZAWISZA, L. (1988). *Arquitectura y Obras Públicas en Venezuela. Siglo XIX*. 3 vol., Ediciones de la Presidencia de la República Talleres de la imprenta Nacional y Gaceta Oficial, Caracas.
- ZAWISZA, L. (1997). *Obras Públicas, siglo XIX. Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. III, pp 374-376, Caracas.

