

Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela

Presentación de la Memoria

José Grases, Arnaldo Gutiérrez y Rafael Salas Jiménez

Con ocasión del catastrófico sismo de Kwantó (Tokio), septiembre de 1923, al Director de una estación sismológica se le mencionó la posibilidad que una cierta lectura hecha por él en un sismograma, no fuese la correcta. Se dice que respondió:

“I am a man of science. I will not change my findings”

Richter, 1958, p. 270

1.- ALCANCE Y OBJETIVO

Esta **Memoria** constituye un primer ejercicio sobre la evolución de la *Ingeniería Estructural en Venezuela* y contribuciones de los profesionales que la han ejercido. En múltiples aspectos puede considerarse continuidad de la obra pionera que elaboró y coordinó el doctor Eduardo Arcila Farías, *Historia de la Ingeniería en Venezuela*, publicada en dos volúmenes con ocasión del primer centenario de la fundación del Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV) el año 1961.

Ese bien sustentado texto se extiende desde los inicios de la Colonia hasta el fin de los días del general Gómez en 1935. Por tanto, la presente **Memoria** se centra en los subsiguientes decenios del siglo XX, lapso durante el cual Venezuela ha disfrutado de un abonanza petrolera que facilitó el crecimiento del país y exigió la participación de los profesionales de la Ingeniería. Basta señalar que en los últimos 70 años el número de profesionales inscritos en el CIV pasó de poco menos de 400 a más de 180.000, y el número de especialidades registradas en el CIV se ha multiplicado: en 1925 el 99% de los inscritos se calificó como Ingeniero Civil, porcentaje este que para 2007 no alcanzó el 20%.

Esta **Presentación** tiene como objetivo dar a conocer al lector una síntesis del contenido de los 13 **Capítulos** y 11 **Anexos** en los cuales se ha organizado la información recabada. Aún cuando se trata de una compilación de hechos, obras y autorías, hay algunos aspectos a los cuales, por su particular influencia en la evolución de la *Ingeniería Estructural*, se ha dedicado mayor atención y, ocasionalmente, la interpretación de los mismos por parte de los Autores. Es pertinente destacar que esta compilación de hechos ha sido organizada por profesionales de la Ingeniería. Por tanto, está lejos de alcanzar el rigor propio de un historiador como lo fue el doctor Arcila Farías. Con todo, se ha tenido el cuidado, siempre que ha sido posible, de dejar constancia sobre las fuentes consultadas, así como el generoso y valioso testimonio de colegas que hemos entrevistado a lo largo de estos últimos tres a cuatro años.

Finalmente viene al caso recordar al historiador Paul Johnson en su obra: *Modern Times: the world from the twenties to the eighties* (N.Y., Harper & Row, 1983). Afirmó allí ese historiador: *“Indeed the historian of the modern world is tempted to reach the depressing conclusion that progress is destructive of certitude”*. Tal deprimente conclusión no se compadece con la Historia que aquí se presenta. Precisamente el reconocimiento de la naturaleza incierta de muchos de los parámetros que se manejan en la Ingeniería moderna, es considerado como uno de los grandes avances de la Ingeniería Estructural durante el siglo XX tal como se explica en múltiples Secciones de esta **Memoria**. Muy lejos del convencimiento de certidumbre expresado por el Director de la estación sismológica de Tokio en 1923, que reprodujo el doctor Charles Richter en su siempre moderno texto: *Elementary Seismology* y que hemos seleccionado como epígrafe de esta **Presentación**.

2.-CONTENIDO

Desde un comienzo, la **Introducción** que va como **Capítulo I** se consideró necesaria a fin de lograr una cierta continuidad con la ya mencionada obra de Arcila Farías. Los Autores atienden así la conveniencia de ubicar al lector con el no tan lejano siglo XX. Para ello se presenta allí una muy sintetizada reseña sobre los cambios políticos que vivió el país desde 1935 hasta fines del siglo XX. Esa síntesis se ha centrado en dos aspectos que resultan fundamentales en esta Historia: la educación y las obras públicas. Estos dos sectores de la vida del país están inevitablemente ligados a otros que se irán mencionando en su momento. Las principales referencias empleadas son mencionadas en cada uno de los lapsos en los cuales se han dividido los años que van desde 1936 hasta 1998.

Destaca en esa **Introducción** un ensayo de respuesta a dos preguntas ineludibles. La primera: qué se entiende hoy en día por *Ingeniería Estructural*, y; la segunda, cuando y como nació y se conformó entre nosotros esa especialidad de la Ingeniería.

El inicio de la Ingeniería Estructural en Venezuela no ha quedado marcado por un hecho singular. Si fuese obligado citar alguno, sabemos que en 1838 Juan Manuel Cajigal, Director de la Academia Militar de Matemáticas, anunció que, liberado de "...una pesada carga docente..." gracias al relevo de la primera promoción de Tenientes de Ingeniero del año anterior, cuatro graduados, podía dedicar tiempo a la enseñanza del diseño de puentes colgantes.

Los **Capítulos II y III** están centrados en la formación universitaria de nuestros profesionales de la ingeniería, así como en los actores que tuvieron bajo su responsabilidad las tareas docentes. A partir de 1841 y por enfermedad de Cajigal, la Academia no pudo contar más con él. Fueron sus discípulos, y los discípulos de estos, quienes prepararon las 16 promociones siguientes hasta 1872 año de su clausura.

Para 1948 ya existía la Escuela de Ingeniería en la UCV. Una vez separada de la Escuela de Arquitectura, la de Ingeniería se organizó en Departamentos. Estos fueron mencionados en las Memorias de la Facultad de 1952, entre los cuales y por vez primera, el Departamento de Estructuras. Este departamento mantuvo su existencia en las diferentes reorganizaciones que ocurrieron en la Facultad.

El **Capítulo III** se extiende a la creación de nuevas Facultades de Ingeniería, al fundarse las primeras universidades privadas durante 1951-1952: la Universidad Santa María (USM) en El Paraíso, actual sede de postgrado de esa institución, y la Universidad Católica de Venezuela, actual Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).

En los últimos años de la década del 60, estalló en la UCV un amplio movimiento de reforma conocido con el nombre de 'Renovación Académica'. Este movimiento alcanzó niveles muy radicales, especialmente en ciertas facultades y escuelas. Esto alarmó al gobierno así como al estamento político que tenía fuerza decisoria en el Congreso Nacional y, en respuesta, el mes de octubre el Gobierno decidió intervenir militarmente la UCV, violando su autonomía.

La percepción que en la década de los sesenta del siglo pasado aún se tenía de algunos profesionales, queda reflejada en una anécdota de la época cuyo protagonista fue el sub-director en aquel momento del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil de Lisboa (LNEC), el doctor Julio Ferry Borges. Corría el mes de febrero de 1968 y el citado doctor Borges, destacado investigador de ese prestigioso centro, dictó una conferencia interna a los investigadores del LNEC sobre la importancia de incorporar la naturaleza incierta de nuestra información en la Ingeniería Estructural. En cierto momento de su explicación, definió al Ingeniero Estructural, aproximadamente de la siguiente forma: *'Es un profesional que diseña estructuras que no comprende*

totalmente, con modelos que no simulan adecuadamente la estructura portante, empleando procedimientos que no comprende completamente, en una forma sobre la cual el propietario tampoco está consciente’.

Otro actor de excepción, el profesor Emilio Rosenblueth de la Universidad Nacional Autónoma de México, en charla informal hacia el año 1985, expresó lo mucho que se había progresado en la Ingeniería Sismo-resistente, pues: “*Ya sabemos, lo que no sabemos*”. Sin duda, un buen punto de partida para orientar las tareas propias de la docencia de post grado y la investigación de temas tratados en los **Capítulos III y VII** de esta **Memoria**.

Finalmente se destaca en el **Capítulo III** que en 1959 se instaló en el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (MMH) la primera computadora del sector público nacional. Al año siguiente, la UCV adquirió su primera computadora para entrenamiento e investigación en la Educación Superior. Hacia 1966 ya se había despertado en la Facultad de Ingeniería-UCV el interés por el empleo de los sistemas de cálculo automatizado. El equipo Burroughs 5500 de tiempo compartido, uno de los de mayor capacidad en su momento, fue adquirido por esa Facultad en 1967. Entre las consecuencias que tuvo el rápido desarrollo de los nuevos algoritmos de análisis estructural, lo cual se reflejó en múltiples trabajos del Departamento de Estructuras de la Facultad, fue el progresivo abandono de los modelos estructurales para resolver problemas de geometrías atípicas. No obstante, el ensayo de modelos, y hasta prototipos, para conocer el desempeño de sistemas estructurales o partes de él, a nivel de grandes deformaciones inelásticas, ha mantenido vigencia. En 1968 la Facultad de Ciencias de la UCV fundó la nueva Escuela de Computación, primer centro académico del país donde se ofreció esa disciplina.

En el **Capítulo IV** se presentan apuntes sobre la Venezolanización de nuestra profesión. Los profesionales venezolanos vinculados a la Ingeniería Estructural y a la construcción, algunos de los cuales siguieron estudios en el extranjero, percibieron la evidente necesidad de contar con Normativas propias, tema este que se trata en el **Capítulo IX**. De igual modo, el apoyo que los laboratorios de ensayo e investigación podían prestar a las actividades propias de sus trabajos es un tema que se trata en el **Capítulo VIII**. Efectivamente, la normalización y la creación de laboratorios por parte de organismos del Estado, universidades y privados, fue manifiesta en los años que van desde finales de los años 30 hasta la década de los 60.

Reflejo de esa inquietud fue la celebración en Caracas, el año 1973, de las *Primeras Jornadas Nacionales sobre Venezolanización*. Se estableció allí lo siguiente: “*Entendemos por Venezolanización de la Ingeniería el proceso de creación e instrumentación de políticas y de mecanismos operativos propios, con la participación efectiva de nuestros ingenieros, arquitectos y profesionales afines, a fin de lograr el desarrollo integral y la afirmación nacional mediante el uso óptimo de los recursos humanos y materiales del país*”. En 1985 se publicaba el *Directorio Profesional de la Sociedad Venezolana de Ingeniería de Consulta*, documento al cual hemos tenido acceso gracias a la gentileza del doctor Diego Ferrer Fernández. Se recogió allí, en más de 400 páginas, el Directorio de profesionales y empresas de consultoría de mucha utilidad para elaborar los listas de empresas que se dan en los **Anexos** de esta **Memoria**.

A finales del siglo XIX se introdujo en Venezuela el empleo del concreto como material de construcción. Se recoge en el **Capítulo V** la evolución de diversos aspectos de ese nuevo material y su tecnología que abarcó: obras hidráulicas, instalaciones portuarias, vías de comunicación, desarrollos urbanos y edificios en general. En ese

capítulo se reseñan brevemente contribuciones técnicas de autoría venezolana publicadas durante el primer tercio del siglo pasado. Desde 1938 hasta su desmembramiento en 1984, en el MOP se prestó atención a la elaboración de documentos normativos y especificaciones de construcción en los cuales ya se reconoció la naturaleza incierta de la resistencia a la compresión del concreto. Por ejemplo, en las Normas para la Construcción de Edificios del año 1945, primer texto en el cual se dieron criterios para la elaboración de concretos, se exigió que: *‘La resistencia mínima del concreto será la que se indique en los planos o especificaciones, para la carga de ruptura a la compresión a los 28 días’*. Para los concretos de mejor calidad: *“...no se admitirá una carga de ruptura menor de 100 kgf/cm² a los 28 días para el promedio de los cilindros ensayados, ni inferior a 80 kgf/cm² para uno cualquiera de ellos...”*. Para los de menor calidad los respectivos valores se establecieron en 80 kgf/cm² y 60 kgf/cm². Criterios similares aplicaban a los materiales de alfarería.

Los requerimientos anteriores revelan que los profesionales que redactaron ese documento normativo ya tenían claro, aún cuando no fuese explícitamente indicado, el concepto de la naturaleza no determinista de las propiedades mecánicas de esos materiales de construcción. Este tema es tratado con cierto detalle en el **Capítulo V** y es parte importante de las Normas COVENIN vigentes.

El tema vivienda y sistemas constructivos industrializados, empleados o desarrollados en Venezuela es tratado en el **Capítulo VI**. Se sintetiza allí la ejecutoria del Banco Obrero fundado en 1928 -luego INAVI- destacando la contribución de los profesionales que supieron introducir la planificación como elemento fundamental de gestión. La creación del Taller de Arquitectura del Banco Obrero (TABO) impulsó el Plan Nacional de la Vivienda con tipologías multifamiliares y servicios integrados, propios de lo que entre nosotros conocemos como ‘urbanización’. El Plan Cerro Piloto (1953-1954) señaló una vía para la recuperación de áreas invadidas por viviendas precarias y su sustitución por súper-bloques de apartamentos. Aún cuando la estrategia de los súper-bloques no contó con el apoyo de un equipo internacional de expertos, en años subsiguientes se siguieron construyendo algunos.

Como se constata allí, los balances sobre totales de vivienda ejecutadas no siempre son concordantes entre los trabajos consultados, incluso en un mismo trabajo. Con todo, los máximos valores del índice promedio de viviendas construidas/año, por cada 1000 habitantes, que llegaron a valores del orden de 5.3 en la década de los años 70 ha decaído sistemáticamente desde esas fechas en adelante. Los valores correspondientes a la última década están muy por debajo de los que se obtienen solo por demanda del crecimiento vegetativo del orden de 4 viviendas/año, por cada 1000 habitantes. Los programas de consolidación de barrios, considerados como alternativa durante algunos años, no prosperaron.

A partir de los años 50 y siguiendo experiencias europeas, en el país se desarrollaron sistemas para edificar a base de componentes prefabricados desde una planta hasta más de 15 niveles. La introducción de nuevas plantas de prefabricación se vio frenada a finales de la década de los 70 por limitaciones económicas, hasta su extinción. Hoy en día subsisten sistemas prefabricados de una planta. También subsisten sistemas ahorradores de mano de obra como el sistema con encofrados metálicos ‘tipo túnel’. En ese **Capítulo VI** se hace mención al programa de Vivienda Rural, programa este que contó con el segundo laboratorio de Ensayo de Materiales del país para conocer y controlar las propiedades de los materiales empleados, incluido los sistemas de suministro de agua potable y recolección de aguas servidas. Finalmente se da una breve

síntesis sobre el desempeño conocido de edificaciones hechas a base de sistemas prefabricados, que han pasado por sismos intensos sucedidos en diferentes países entre 1960 y 1988.

El **Capítulo VII** de esta **Memoria** trata sobre una nueva disciplina de la Ingeniería Estructural que es la Sismo-resistencia, especialidad que se ha beneficiado de un notable progreso en las últimas décadas. Se constata allí un entrecruce de cuatro secuencias de sucesos e iniciativas, a lo largo de los últimos 60 a 70 años que abarca su evolución. Éstas son: (i) el análisis de los eventos sísmicos que han afectado al país y sus lecciones desde el primero en 1530; (ii) las normativas elaboradas en la Sala Técnica del MOP desde 1939 en adelante y sus necesarias actualizaciones; (iii) la toma de conciencia, estudio, enseñanza y profesionalización de esa nueva disciplina que tuvo su inicio entre nosotros luego del terremoto de Caracas del año 1967; (iv) la trascendental influencia de la Ingeniería Sísmica Forense, la cual en este último medio siglo ha alcanzado un ámbito mundial.

Tomando en consideración que el objetivo de esta Historia es un recuento de hechos y vivencias venezolanas, el último de los temas anotados en el párrafo anterior - la Ingeniería Sísmica Forense- solo es citado en la medida que puede contribuir al mejor sustento de las decisiones que se hayan adoptado en el país. De modo que, vista en perspectiva, por las características particulares de la evolución y desarrollo de la Ingeniería Estructural, -así como probablemente en la de otras especialidades- su historia es resultado de un entrecruce de eventos naturales, avances y retrocesos en algunas decisiones e iniciativas ingeniosas, todo lo cual ha ido conformando esa nueva especialidad de la Ingeniería.

Según se ha indicado más arriba, en el **Capítulo VIII** se desarrolla el tema de los laboratorios de ensayo, la enseñanza de los materiales de construcción, los problemas de control en obra, así como aspectos de la patología de las construcciones. En los comienzos del siglo XX no existían en el país laboratorios especializados en construcción, aún cuando sí contaba con algunos técnicos instruidos en escuelas de enseñanza superior y que estaban en condiciones de llevar a cabo las tareas propias de la ejecución de obras.

Hasta entrado el siglo XX y salvo excepciones, las edificaciones se ejecutaban empleando tecnologías tradicionales. Fue hacia 1933 cuando, durante la construcción de un malecón de concreto en la bahía de Turiamo, estado Aragua, se controló por primera vez la calidad de ese material. Para ello se adoptaron normas técnicas internacionales '*utilizando equipos modernos*': las normas fueron las ASTM y los ensayos se ejecutaron en un laboratorio de campo instalado allí por la compañía norteamericana contratista de esa obra. Pocos años después, en 1936, se instaló el primer laboratorio de control de calidad cuando se creó la División de Ensayo de Materiales del MOP. Esta fue la primera instalación donde los estudiantes universitarios podían observar la ejecución de ensayos. El siguiente laboratorio, este sí con la participación de los estudiantes, se organizó a mediados de los años 40 en la vieja sede de la UCV, actual Palacio de Las Academias.

Se tiene constancia de que al mudarse la Facultad de Ingeniería a la Hacienda Ibarra, sede de la moderna Ciudad Universitaria, se logró la donación de equipos y los estudiantes comenzaron a realizar todas las prácticas en la universidad. Esta instalación quedó en un galpón cedido temporalmente a la futura Facultad de Ingeniería. A fines de los años 40 y durante las décadas siguientes, se abrió la oferta de servicios a la industria de la construcción sin perjuicio de la actividad académica. Estos servicios generaban

fondos propios, cuya administración fue tenazmente defendida por los responsables de la dirección del laboratorio. En 1955 las instalaciones se trasladaron a la sede del Laboratorio de Ensayos de la Facultad de Ingeniería de la UCV. Visto su rendimiento y programas de crecimiento, en febrero de 1962 fue elevado a la categoría de Instituto, con rango de Escuela, con el nombre de *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales* (IMME).

La incorporación de jóvenes profesionales dio un impulso tanto a la docencia formal, como a la atención de tesis de grado y servicios técnicos. Entre las múltiples iniciativas se fundó el *Boletín Técnico del IMME*, órgano divulgativo que en 2013 cumplirá 50 años continuos de aparición. Por otra parte, el sismo de 1967 abrió nuevas oportunidades de colaborar tanto en las investigaciones de edificaciones afectadas, como en su rehabilitación. De allí que el IMME fuese la sede del Curso Multinacional en Ingeniería Sismo-resistente a nivel de Maestría, auspiciado por OEA, donde acudieron profesionales de países hispanoparlantes durante más de 10 años a partir de 1973.

Finalmente, en este capítulo se describe el nacimiento del INVESTI, así como otras iniciativas conjuntas del sector público y privado para desarrollar normativas que necesitaba el país, cuyo relevo quedó en manos de COVENIN. Finalmente, se da una breve reseña sobre el IDEC como centro experimental de soluciones constructivas motorizado por destacados profesores de la Facultad de Arquitectura de la UCV.

El **Capítulo IX** está dedicado al tema de la Normalización y a la aparición de los Manuales de Cálculo. Este hecho representa una de las características propias de la independencia tecnológica y venezolanización de la ingeniería. Para reconstruir su historia, se contó con el valioso testimonio de profesionales que contribuyeron con los primeros documentos normativos hechos en el país. Estos respondieron a la necesidad de armonizar criterios de diseño y de ejecución, entre los profesionales responsables de obras del Ministerio de Obras Públicas. Este proceso se inició en las Salas de Cálculo del MOP y luego bajo la coordinación de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Los profesionales de la ingeniería contaron así con un conjunto de documentos de referencia para la ejecución de los proyectos y trabajos de campo.

Las iniciativas mencionadas contribuyeron al progreso de la Ingeniería Estructural en Venezuela. Se vieron complementadas por la elaboración de Manuales de Cálculo, inicialmente del mismo MOP el año 1942 y posteriormente como aportes en ámbitos mas amplios por parte de otros profesionales especializados.

Durante siglos el arte de la construcción se ha nutrido de éxitos y fracasos en obras hechas por el hombre. En el **Capítulo X** se presentan antecedentes venezolanos de eventos que han alcanzado características catastróficas: situaciones accidentales no siempre previsibles, errores en la selección de sitios, fallas por sobrecargas y otros generados por fenómenos naturales que han sucedido a lo largo de los dos últimos siglos. Forman parte de ese inescapable proceso de aprendizaje propio de una sociedad que le tocó construir un país, con los profesionales de la ingeniería que contaba en esa época, sin la guía de documentos normativos y con muy pocas experiencias previas.

Etimológicamente, la naturaleza 'forense' se reserva para designar aquellas situaciones que llegan al 'foro'. Es decir, al pronunciamiento por parte de jueces cuya función es dictaminar la eventual responsabilidad del autor del proyecto o del constructor de la obra en cuestión Este **Capítulo X** está orientado a destacar lecciones propias de la naturaleza patológica de los 50 casos compilados. O sea: las causas y

posible origen que se infieren de los casos descritos, algunos de los cuales han sido sustento de recomendaciones incorporadas a las Normativas vigentes. Estos se presentan de modo escueto y siguiendo un orden cronológico. Los de mayor interés se han agrupado según el origen de los mismos, acompañados del correspondiente sustento referencial. El sustento de este **Capítulo** se extiende a 140 referencias consultadas.

Entre los variados casos, resultó obligado incluir la evaluación del desplome de una edificación en la ciudad de Cumaná como consecuencia del terremoto de Cariaco sucedido en julio de 1997. Con un trágico balance en pérdida de vidas el mismo reviste singular importancia en esta **Memoria** por las dos razones siguientes: (i) ejemplifica con cierto nivel de detalle los diferentes pasos asociados a una rigurosa investigación forense; (ii) se trata de una edificación proyectada y construida durante un lapso de tiempo -1967 a 1982- en el cual las normativas que se encontraban en vigencia tenían carácter provisional desde 1967; estas fueron sustancialmente modificadas por considerarlas obsoletas en 1982 y 2001.

Igualmente se incluye un muy ilustrativo caso sobre una represa planificada a ser construida en concreto. Durante el desarrollo de los estudios y visto el estado de otras obras de concreto cercanas al sitio seleccionado, se constató un posible problema con los agregados disponibles en el área. Los estudios demostraron que, efectivamente, los agregados preseleccionados para ser empleados podían reaccionar con los álcalis del cemento, lo cual no resultaba conveniente por su contacto permanente con el agua. Esta observación por parte del proyectista, evitó un problema de progresiva auto-destrucción del concreto, no identificable por simple inspección en el momento de la ejecución, y se construyó un embalse de suelo compactado.

El título del **Capítulo XI** es el siguiente: *Contribución de los Profesionales de la Ingeniería en la Planificación y Ejecución de Obras. Una Introducción*. El tema de esta parte de la **Memoria** escapa a la especialidad de los Autores. Se ha querido dejar constancia sobre la importancia de la planificación. Esto es ilustrado con algunos ejemplos, entre los cuales el Metro de Caracas. Debe considerarse como una introducción según se anuncia en su título.

A lo largo de la preparación de esta **Memoria** se han identificado algunos casos que se han agrupado en el **Capítulo XII** bajo el título: *Ingeniería Estructural: Incertidumbres y Ética*. El único denominador común que tienen los doce casos allí descritos es que, antes de incluirlos en el texto, han sido cuidadosamente examinados y en su mayoría cuentan con el testimonio de algunos de sus actores. Ilustran al menos cuatro posibles fuentes de conflicto: (i) obras en las cuales a nivel de proyecto subsistieron importantes incertidumbres por falta de experiencias previas, ejemplificado por el túnel de trasvase que debería estar llevando agua del embalse de Yacambú al valle de Quibor y que cruza de la falla de Boconó de 1200 m de ancho; (ii) errores en la toma de decisiones, como fue el cambio de la ruta del proyecto original de la Autopista Regional del Centro; (iii) omisiones en los estudios de sitio y/o desconocimiento de recomendaciones debidamente sustentadas, entre los cuales destacan los deslaves de Vargas en 1951 y el pobre desempeño de obras preventivas durante la última década; (iv) falta de planificación por parte de los organismos del Estado, ilustrado con las injustificables demoras en la terminación del sistema de embases y plantas de generación de energía del Sistema Uribante-Caparo.

Quedan como lecciones, muchas de ellas costosas lecciones, a ser aprendidas por las nuevas generaciones. No podían omitirse en una *Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela*.

Como último se ha incluido el **Capítulo XIII** que trata sobre los puentes en Venezuela. Inicialmente concebido como el **Anexo B1**, se ha organizado como un capítulo más por las dos razones siguientes. En primer lugar porque, en buena medida, el origen de esta Historia fue la decisión de Juan Manuel Cajigal de iniciar clases de: “...puentes colgantes, en atención a ser los de esta especie los que más convienen a la República”. Esto lo expresó en su VI Informe enviado al Gobierno en enero de 1838 donde destacó que su carga docente se vio aliviada gracias a la incorporación a la Academia de los primeros cuatro graduados en 1837. En segundo lugar, porque el número de puentes que la nación ha perdido o que han sufrido graves problemas en los últimos años, parece ser anormalmente elevado. Esto último fue atribuido por el profesor Eduardo Arnal, experimentado profesor de puentes y autor de textos para el diseño de los mismos, a la eliminación de esa cátedra del pensum de Ingeniería Estructural. Sirva este último **Capítulo** como un llamado de atención a las autoridades universitarias.

3.- SINGULARIDADES Y APORTES DE ESTA MEMORIA

Revisados los objetivos y temática del Proyecto *Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela*, ya avanzado el trabajo destacan algunas singularidades.

3.1.- ¿Cuáles pueden considerarse problemas comunes entre, por ejemplo, la construcción de la represa de Cajarao, concluida a mediados del siglo XIX o la ejecución del nuevo viaducto Caracas-La Guaira construido un siglo y medio después? Ambas fueron obras de ingeniería donde el profesional responsable abordó la solución con un cierto bagaje de información y un mucho de ingenio. Tuvieron retos similares: (i) resolver un problema específico, cuya solución no podía tener un carácter provisional pues debía asegurar una cierta vida útil a la obra, en los ambientes y condiciones de servicio donde se encontrasen expuestas, y; (ii) no podían excederse los costos de ejecución pre-establecidos.

3.2.- Los ejemplos dados en el punto anterior, particularmente y por su complejidad en el segundo de ellos, la planificación resultó ser fundamental. Este es señalado en esta Memoria como un aporte trascendente en la gestión de nuestra Ingeniería. Ocasionalmente se menciona que fue durante el septenio de Guzmán cuando se dieron los primeros pasos dirigidos a la planificación del crecimiento del país. Revisada nuestra historia, puede afirmarse que hubo otros hitos de mayor trascendencia. Por ejemplo en lo que atañe a obras de vialidad, durante el llamado ‘trienio’ que duró de 1945 a 1948 se creó la Comisión Nacional de Vialidad, la cual presentó un bien sustentado y analizado Plan Preliminar de Vialidad, a ser ejecutado por el Consejo Nacional de Vialidad creado en 1948; esta planificación fue esencialmente respetada por gobiernos posteriores y mantiene vigencia.

3.3.- Al igual de lo que sucedió a finales del siglo XIX, los avances del conocimiento en otras latitudes, así como eventos que han ido dejando huellas del tipo “antes de” ó “después de”, han marcado nuestra Ingeniería Estructural. Es el caso de: (i) el empleo del cemento y el uso del concreto; (ii) la publicación y divulgación académica del Método de Cross para el análisis de estructuras; (iii) la obligatoriedad de los estudios de suelos; (iv) la introducción del concreto pretensado; (v) el texto de Blume, Newmark y Corning (1961) primer texto dirigido al diseño de estructuras de concreto reforzado ubicadas en zonas sísmicas; (vi) los efectos del terremoto de Caracas de 1967; (vii) la irrupción de las computadoras; (viii) incendios en edificaciones de gran altura; (ix) los deslaves en nuestras cordilleras; (x) la pérdida de la represa de El Guapo, solo para citar una decena de ellos. Buena parte de los eventos catastróficos han conformado una casuística que se recoge en el **Capítulo X** de esta **Memoria**.

3.4.- Una de las características que ha marcado la Ingeniería Estructural, ha sido la naturaleza incierta de acciones externas a considerar en los proyectos, así como de la capacidad portante de nuestras estructuras. Parte de las obras creadas por profesionales han visto su vida útil afectada por la intensidad de eventos extremos: vientos huracanados o sismos sucedidos en tiempos históricos, precipitaciones persistentes y otras, no previstas en los documentos normativos o especificaciones. En nuestras normas vigentes, explícitamente se aceptan probabilidades de excedencia de los valores de diseño y, para obras de importancia excepcional, esas probabilidades se reducen incrementando los valores de diseño. En obras excepcionales se exigen estudios de sitio. Lo dicho constituye una directriz orientada hacia el desarrollo de sociedades menos vulnerables, esencialmente urbanas, y a la reducción de riesgos asociados a la instalación de grandes plantas industriales. Entrado el siglo XXI, normativas establecidas por organismos internacionales son aún más exigentes. En ellas, hecho el diseño, el proyectista debe demostrar que la probabilidad de ruina de su proyecto no excede valores prefijados. Es el moderno concepto del viejo ‘factor de seguridad’, lo cual tiene implicaciones docentes que no pueden ser ignoradas.

3.5.- Nuestra Ingeniería Estructural se ha beneficiado de inquietudes más recientes consecuencia de los efectos de los sismos. El año 1968 y en trabajo presentado por el profesor Víctor Sardi en un Seminario Técnico que se celebró en el seno de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, ese distinguido académico determinó la función de distribución acumulada de las probabilidades de no excedencia anuales de magnitudes Richter, en el área de Caracas. Con un tratamiento matemático impecable, limitaciones propias de la estadística del momento condujeron a una subestimación de esa cuantificación. Lo que se desea destacar aquí es que, con ese aporte, el doctor Sardi señaló la naturaleza probabilista de un problema que, hasta ese momento y en nuestro medio, siempre fue tratado en forma determinista. Igualmente, la mejor comprensión de aspectos asociados al desempeño de estructuras, ha conducido a una fructífera interacción entre colegas venezolanos y de otros países que permite examinar problemas insuficientemente comprendidos. De allí que en este último medio siglo, la Ingeniería Sísmica Forense haya sobrepasado todas las fronteras.

3.6.- La Ingeniería Estructural ha estado vinculada a otras especialidades, siendo cada vez más evidente y necesario el enfoque multidisciplinario de las actividades de un ingeniero y, en particular, de un Ingeniero Estructural. Esto ha dado lugar a nuevos paradigmas como: resiliencia al desastre, gerencia de los riesgos y otros. Para abordar estos problemas ha sido necesario interactuar con profesionales de otras especialidades: la arquitectura, la geotecnia, el control de calidad, las amenazas naturales, el modelado de conocimiento incierto, la ingeniería forense, la prevención y tratamiento de estructuras afectadas por fuego o por fenómenos naturales, nuevas tecnologías de evaluación de estructuras, iniciativas de investigación tecnológica y nuevos materiales por citar los más frecuentes.

3.7.- Desde hace prácticamente un siglo, el país cuenta con publicaciones periódicas en las cuales ha quedado constancia de contribuciones técnicas de autoría venezolana. Allí hemos encontrado iniciativas y propuestas hechas por destacados colegas, pertinentes en su momento, que no fueron atendidas.

3.8.- Finalmente, la información estadística que sustenta los diferentes **Capítulos** se ha recogido en forma de **Anexos**. Su contenido e identificación se da en la Tabla que sigue.

Sector o Materia	Anexo	Contenido
Cátedras y Docentes	C2	Profesores y Materias dictadas en Instituciones Venezolanas que otorgaron el título de Ingeniero Civil

Universitarios	C3	Otras Facultades de Ingeniería
Venezolanización de la Ingeniería	C1	Congresos, Conferencias, Seminarios, Talleres, Revistas, Boletines y otros órganos de difusión
	D	Textos Comentados (285 títulos entre 1884 y 2011)
Obras de Infraestructura	A1	Obras Hidráulicas, Embalses, Canales y Sistemas de Riego
	A2	Líneas Férreas, Puertos, Diques y Aeropuertos
	A3	Vialidad, Autopistas, Distribuidores de Tránsito, Grandes Puentes, Túneles y Metro
	B1	Lista de Puentes: Caracas y Resto del País
Planta Industrial y Generación de Energía	A4	Planta Industrial del Sector Estado y Privado. Sistemas de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica
Desarrollo Urbano	B2	Una muestra de Obras Urbanas en Venezuela Ejecutadas durante el siglo XX
	B3	Museos, Instalaciones Deportivas e Hipódromos

4.- LIMITACIONES

La sabiduría de un historiador como fue el doctor Arcila Farías detuvo en 1935 el horizonte de la crónica que se publicó en 1961, año centenario del CIV. Una de las limitaciones de la presente **Memoria** es la de que el año sesquicentenario del CIV, 2011-2012, es muy cercano al final del siglo XX. Los Autores estamos conscientes de los riesgos que corremos con las omisiones involuntarias: de allí, a verlas como lo que no son, hay un paso muy corto. Es por ello que en la primera línea de esta **Presentación** se habla de un 'primer ejercicio'. Con todo, ese ejercicio de evaluar en perspectiva la evolución, contribución, orientaciones y decisiones de los gobiernos que siguieron al de Gómez se ha extendido hasta finales del siglo XX sin perder, en lo posible, la deseable serenidad del análisis.

Una segunda y gran limitación que hemos percibido es la casi ausencia de investigaciones similares sobre temas afines. En ningún caso podemos afirmar que no existan; simplemente no las hemos encontrado. Esto, a diferencia de la Historia de la Arquitectura en Venezuela, que ha sido objeto de notables y enriquecedoras contribuciones por parte de distinguidos investigadores venezolanos. Los pocos textos consultados que tratan el tema de la Ingeniería Estructural y sus actores, muy poco la relacionan con las necesidades del país y la formación de los profesionales. Lo anterior ha sido generosamente compensado con el testimonio verbal de colegas que nos han cedido parte de su valioso tiempo, aclarando dudas y arrojando luz sobre temas insuficientemente conocidos. Además de enriquecedor y esclarecedor, en algunos casos ha contribuido a descubrir obras escritas poco conocidas.

Caracas, marzo 2012