

Capítulo X

VULNERABILIDAD NO TOLERABLE Y ACCIDENTES. CASOS Y LECCIONES EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

José Grases, Arnaldo Gutiérrez y Rafael Salas Jiménez

“...es conveniente repetir que el cálculo antisísmico en la forma aquí recomendada, o en la de otras normas extranjeras, no constituye ni puede constituir garantía absoluta contra los graves daños de los terremotos, que envuelven factores muy diversos y cuyos efectos solo se logran conocer por el análisis de las observaciones obtenidas con la repetición de tan peligrosos elementos destructivos de la naturaleza”
Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas (MOP, 1967)

Resumen

Durante siglos el arte de la construcción se ha nutrido de éxitos y fracasos en obras hechas por el hombre. Se presentan aquí algunos antecedentes venezolanos de eventos naturales de naturaleza catastrófica, situaciones accidentales no siempre previsibles, errores en la selección de sitios, fallas por sobrecargas y otros 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 nuestro país, con los profesionales de la ingeniería que contaba en esa época, sin la guía de documentos normativos cuya progresiva aparición en Venezuela se inició hacia el final de los años 30 del siglo pasado.

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** está orientado a destacar lecciones propias de la naturaleza patológica del evento; o sea, las causas y posible origen que se infieren de los casos aquí 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; algunos de mayor interés se han agrupado según el origen de los mismos, acompañados del correspondiente sustento referencial.

Resulta obligado incluir entre los variados casos la presentación 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 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 sufrieron cambios significativos en los años subsiguientes por considerarse obsoletas.

X.1.- INTRODUCCIÓN

Desde un comienzo debe quedar claro que tanto los casos que hayan alcanzado la naturaleza 'forense', como aquellos que sufrieron los efectos de acciones infrecuentes de la naturaleza y que forman parte de lo que conocemos como 'patológicos', son del interés de los profesionales de la Ingeniería por enriquecer la estrategia preventiva. Ese ha sido el criterio general en la selección de los eventos que se anotan en este **Capítulo**. En la **Tabla X.1** se sintetiza la casuística recogida, siguiendo un orden cronológico.

En la **Sección X.2** que sigue a esa tabla, se han agrupado los casos que tienen causas comunes. Han resultado diez causales: (i) pérdidas de puentes por tiro de aire insuficiente; (ii) asentamientos de fundaciones; (iii) fenómenos hidro-meteorológicos extremos; (iv) sismos y licuefacción; (v) maremotos; (vi) huracanes; (vii) sobrecargas no previstas; (viii) corrosión; (ix) incendios y otros accidentes, y; (x) embalses.

En el encabezamiento de la **Tabla X.1** se deja constancia de las referencias consultadas. Salvo casos excepcionales, se ha omitido su cita en esta tabla.

TABLA X.1

MUESTRA DE EVENTOS SUCEDIDOS EN EL LAPSO 1766-2010

(Referencias consultadas: Ernst, 1878a; Brun, 1894 ; Centeno Graü, 1900, 1940; Franquiz J., 1901; Sievers, 1905; Urdaneta, 1912; Paige, 1930; Tamayo, 1941; Nones del Valle, 1942; Röhl, 1945, 1949; Maza Z., 1951; Freyssinet, 1953; Riehl, 1954; Arcila F., 1961 ; Buroz y Guevara, 1979; Gomez, 1983; De Sola, 1964; CIV, 1967;Buroz et al., 1976; Singer et al., 1983; Kausel, 1986; Sarria, 1986; De Santis y Audemard, 1989; Grases, 1994; Harwich, 1997; FUNVISIS, 1997; Vincentelli, 1999; Grases et al., 1999; SIDETUR, 2001; Pacheco T., 2002; Suarez, 2002; Altez, 2005; Gutiérrez, 2006; Torres, 2006; Salcedo, 2006; Camargo Mora, 2006; López, J.L., 2006 y 2010; Rangel, 2006; López y García, 2006; Maglione, 2007; Henneberg, 2009; Suarez, 2009; Torres B. et al., 2009; FUNVISIS, 2009; Caro, 2009; Silva, 2009; Buroz, 2010)

FECHA	TIPO DE EVENTO	BREVE DESCRIPCIÓN
1766-10-21	Terremoto	Con área epicentral probable hacia al norte del estado Sucre, este es uno de los mayores sismos históricos que ha afectado el país. No se conocen reportes de víctimas.
1781	Puente Carlos III, Caracas	Destrucción por lluvias torrenciales del primer puente Carlos III sobre la quebrada Catuche, hecho de madera en 1773. Se reconstruyó con mayor sección, en arco de mampostería, en 1783. Esta creciente de 1781 también destruyó el puente La Trinidad, aguas abajo, construido en 1775
1798-02-11 a 13	Crecida de la quebrada Osorio debido a lluvias Torrenciales.	Daños en haciendas y viviendas entre Maiquetía y Macuto por deslaves. La Guaira fue el área más afectada por arremetida de piedras de 'hasta 100 quintales' (~ 5 toneladas); se reportan 30 víctimas.
1812-03-26	Terremotos con orígenes distantes, cercanos en su hora de ocurrencia	En esta fecha el país se vio convulsionado por sacudidas destructoras que causaron grandes estragos en: Caracas, La Guaira, San Felipe, Barquisimeto, Mérida, Santa Cruz y otras poblaciones. De acuerdo con las cifras de la época, hoy cuestionadas, el total de víctimas habría alcanzado la cifra de 15 a 20 mil.
1820	Puente de acceso a Valencia viniendo de Caracas	Este puente 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.
1847-10-12	Inundación en Barcelona	Considerada como una de las crecientes históricas del río Neverí, causó estragos en Barcelona y su litoral.
1853-07-15	Terremoto y Maremoto	Daños importantes en Cumaná. Incursión del mar tierra adentro; descripción similar al del sismo de Enero de 1929. La cifra de víctimas oscila entre 113 y 'cerca a mil'.

> 1875	Puente de Abril o Guanábano	Este caso es tratado en esta Sección X.2.5 con más detalle. El año del suceso pudiera ser 1885.
1877-09- 22 y 23	Vientos huracanados en la península de Paraguaná	Gran huracán al sur de las Antillas Menores desde el día 19 de setiembre. Ocasionó daños en localidades de la costa norte-central. En la noche del 22 al 23, afectó severamente las islas de Curazao, Bonaire y Aruba, así como la península de Paraguaná. No se tiene conocimiento de víctimas.
1878-04-12	Sismo local	Destructor en Cúa, en este sismo local destacan los efectos geológicos y emanaciones de agua caliente, en trabajo pionero realizado por el profesor Adolfo Ernst (1878a).
1880	Puente sobre el río Cabriales, Valencia	Falla por excesiva carga el día de su inauguración.
1892, octubre	Puentes sobre el río Guaire	El Cordonazo de San Francisco de 1892, destruyó tres puentes que cruzaban el río Guaire. Volcamiento del puente de Hierro sobre ese río, por represamiento de troncos y ramas que formaron un dique, el día 7 de octubre. Las precipitaciones en todo el país fueron excepcionales y causaron daños en otras regiones
1894-04-28	Terremoto	Denominado el gran terremoto de Los Andes Venezolanos, este sismo ocasionó la ruina de Santa Cruz de Mora, Tovar, Mérida y Zea, así como daños considerables en Mesa Bolívar, San Cristóbal, Guaraque y otros pueblos. Daños importantes en instalaciones del ferrocarril por licuefacción.
1900-10-29	Terremoto	Este es uno de los primeros sismos registrados instrumentalmente con la primera red de cobertura mundial; también dio lugar a los primeros mapas de isosistas de un sismo venezolano. Su epicentro quedó localizado mar afuera, frente al Cabo Codera. Severos daños en Guarenas, Guatire y localidades de Barlovento; alrededor de 100 víctimas entre esa región y Macuto. Oleaje anormal en Barcelona y Puerto Tuy.
1900-10-29	Licuefacción	Debido a los fenómenos de licuefacción generalizados en áreas cercanas a la costa barloventeña, la línea férrea Carenero-El Guapo sufrió daños importantes y la pérdida de, al menos, el puente Paparo sobre el río Tuy.
1911-1912	Fuga en la base de un embalse	Así como Coro fue el primer centro poblado en recibir agua de un embalse –la presa de Caujarao, construida por el ingeniero Luciano Urdaneta y concluida en 1866-, en 1912 la península de Paraguaná sufrió una sequía extrema; parte de la población murió de hambre y otra emigró hacia el sur (Tamayo, 1941). Los embalses son obras fundamentales en la infraestructura de un país. De hecho, el embalse de Caujarao para suplir agua a Coro, proyectado en 1863, fue la obra de ingeniería más importante hecha en el país hasta ese momento (Urdaneta, 1912, post-mortem).
1912	Puente sobre el río Chama	Reparaciones; este caso no está bien documentado.
1914-01-14	Huracán	El litoral central del país fue afectado. Se reportan viviendas y plantaciones destruidas; 20 víctimas.
1919-04-01	Incendio del Coliseo o Teatro Caracas	Construido en 1854 entre las esquinas de Vereos e Ibarras, tenía una capacidad de 1200 personas. Centro de atención de la sociedad caraqueña, el 1 de abril de 1919 fue totalmente destruido por un incendio.
1927-10-22	Tormenta Tropical	Se reportan 50 viviendas destruidas en el oriente del país y otras tantas afectadas; 26 víctimas.
1929-01-17	Terremoto y Maremoto	Destructor en Cumaná y áreas vecinas Incursión del mar

		por las Sabanas de Caigüire. La interpretación de los registros sismográficos ha sido revisada en años recientes con lo cual la magnitud Richter asignada en los catálogos ha sido reducida en varias décimas: de 6.6 a 6.3.
1933-06-27 a 29	Huracán	Último huracán historiado; en textos especializados es señalado como 'huracán memorable' por su ruta excepcionalmente meridional. Descrito como de muy pequeño diámetro pero asociado a velocidades muy elevadas, ocasionó daños en áreas pobladas de Monagas y Sucre, así como a lo largo de la costa oriental de la isla de Margarita.
1937	Incendio de Lagunillas	Decreto de fundación de Ciudad Ojeda en sustitución de los restos de la población palafítica de Lagunillas, costa oriental del lago de Maracaibo, arrasada por un incendio años antes.
¿1938?	Puente sobre el río Chama	Construido en 1923, fue dañado por una gran crecida del río Chama
¿?	Puente sobre el río Uribante	Puente colgante de 136 m de luz libre. ¿Afectación?
1943-06-03	Puente Colgante Libertador	Pérdida del puente ubicado entre San Cristóbal y Táriba, estado Táchira. Se guarda memoria de la crecida del río Torbes la noche del día jueves 03 de junio de 1943. La creciente destruyó el citado puente.
1951-02-25 a 26	Deslaves en el estado Vargas	Precipitaciones torrenciales generaron deslaves en la costa del actual estado Vargas. En Macuto, el río del mismo nombre arrastró puentes y tramos del acueducto. Daños en viviendas y cultivos; 20 desaparecidos. El ingeniero A. Vincentelli fue testigo presencial y publicó sus observaciones (Vincentelli, 1999, p 251-264).
1956	Hospital Universitario del Zulia	Corrosión generalizada de la estructura de concreto armado por empleo de arenas provenientes de una salina. La reparación requirió varios años
1958	Reventones de la Línea de Gas Anaco-La Mariposa	Durante el día 8 de septiembre de 1958, en el kilómetro 309 del gasoducto Anaco-Caracas, a las 10 am ocurrió un reventón. En fechas anteriores, la línea había sido probada a presiones entre 1250 y 1100 psi, con resultados satisfactorios. El evento sucedió cuando la presión del fluido en la tubería de 26 pulgadas de diámetro era la de operación, igual a 900 psi. De las inspecciones y experticias se concluyó que la explosión fue debida a factores externos sin poder determinarlos (Caro, 2009).
1964-04-06	Choque de un Tanquero contra el Puente sobre el Lago	Una de las obras más destacadas del país, es el Puente Rafael Urdaneta sobre el Lago de Maracaibo, el cual se inauguró el 24 de agosto de 1962. Con una longitud cercana a los 9 km, consta de 135 pilas, algunas de las cuales sobre pilotes de 60 m de longitud. Esta obra facilita la comunicación terrestre con Maracaibo, pues une la costa oriental del Lago con esa capital. En la fecha anotada, poco antes de media noche, el barco "Esso Maracaibo" chocó contra las pilas 31 y 32 del puente.
1965	Desastre ambiental	En 1965 la CVG inicia un proceso de desarrollo agrícola en el Delta del Orinoco, se cierra el Caño Mánamo, lo cual generó un desastre ambiental. Surgieron allí dos problemas ambientales: (i) la salinización de las aguas del Caño Mánamo por efecto de la intrusión de las mareas, problema que se resolvió colocando compuertas de regulación en el dique para dejar pasar un caudal suficiente que restituyese la salinidad a su situación inicial y; (ii) la acidificación de tierras en la isla de Agua por efecto de la oxidación de sedimentos marinos expuestos a aireación debido al exceso de drenaje (Buroz and Guevara, 1979).

1967-07-29	Terremoto	Este sismo que afectó la capital del país fue precedido por un sismo temprano por la mañana, moderadamente destructor en el área de Cúcuta-Bucaramanga y San Cristóbal, Táchira, con un balance de 22 víctimas. A las 8 PM, cerca de 300 víctimas por la caída total o parcial de edificaciones en áreas de Caracas y Caraballeda. Marca el inicio de los estudios de Ingeniería Sísmica en nuestro país. Licuefacción y deslizamiento hacia el suroeste de la Laguna de Valencia de extensas áreas ribereñas cercanas a Güigüe.
1970-09-	Inundación	Cumaná bajo las aguas por crecida excepcional del río Manzanares. Se decide la posterior construcción de un dique de control, el cual ha minimizado la probabilidad de nuevas inundaciones. De igual modo sucedió en Barcelona: se levantaron los daños ocurridos y se publicó un libro con los resultados de la encuesta, publicación de la División de Hidrología del MOP; como resultado se diseñó y se construyó un canal de desvío de las crecientes del río Neverí.
1974-08-	Tormenta Tropical Alma	Afectación en los golfos de Paria y Cariaco hasta el Lago de Maracaibo; inundaciones en Valencia por crecida del río Cabriales.
1977	Incendios en la Torre Europa, Caracas	Este incendio afectó algunas partes de la estructura de ese edificio de concreto armado. En 1998 ocurrió un segundo incendio
1981-04-17	Inundaciones en Caracas	Pérdidas estimadas en 10 millones de US\$; cerca de 30 víctimas y número no determinado de desaparecidos.
1982	Incendio y explosión en la Planta de Tocoa, litoral central	El 19 de diciembre ocurrió una secuencia de incendios en la planta de generación termoeléctrica de Tocoa, Arrecifes, que culminó con la explosión de uno de los tanques de combustible con un trágico balance de 180 víctimas entre bomberos, periodistas y población local.
1987-09-06 (día domingo a las 3 PM)	Deslaves del río Limón, Maracay	Alrededor de 1400 viviendas afectadas por súbitas crecientes del río Limón. Entre 5 y 6 mil vehículos dañados o enterrados; tres puentes caídos. El volumen estimado de depósitos sólidos fue de 2 millones de m ³ , unas 5 veces menor que el volumen estimado del deslave anterior en esa zona, aún no datado. Fue un año de muchos incendios en el Parque Henry Pittier. La prensa menciona centenares de víctimas.
1993	Excavadora Intercepta Tubería de Gas en Las Tejerías	Una excavadora operaba en las cercanías del hombrillo norte, vía este-oeste, de la Autopista Regional del Centro. Este equipo consistía de una gran rueda dentada, de ancho limitado, para generar un canal en el cual debía disponerse una línea de fibra óptica. A la altura de Las Tejerías, los dientes con punta de diamante de la excavadora interceptaron la parte superior de una tubería de gas, cuya perforación ocasionó una súbita fuga e ignición de gas a presión.
1993-08-8 y 9	Tormenta Tropical Brett	Vientos de 100 km/h causan daños en Nueva Esparta y áreas al sur de Caracas. Se reporta un total de 120 víctimas y 10 mil damnificados.
1997-07-09	Terremoto	Sismo de magnitud 6.9 con efectos destructores en Cariaco y áreas vecinas del estado Sucre. Ruina de un liceo y una escuela, así como daños en construcciones el área. Desplome de un edificio en Cumaná.
1999-12-15 a 17	Deslaves y lluvias pertinaces en el área norte-central del país	Estimaciones varían entre 10 a 50 mil víctimas y pérdidas materiales cuantiosas en el estado Vargas; cambios en la línea de costa. Los deslaves afectaron puentes del litoral; estadística no conocida. Rotura de la presa de El Guapo

		en Miranda por insuficiencia en la capacidad de alivio, destruyó parte de la vía Guapo-Cúpira. Afectación menor en diques de contención de la costa oriental del estado Falcón.
2000-10-01	Macro-deslizamiento en zona densamente habitada al oeste de Caracas	El monitoreo del área afectada, durante un año de observaciones, permitió organizar un plan de desalojo de viviendas con cinco días de antelación al evento; a tres horas antes del súbito deslizamiento, el desalojo fue obligado por fuerzas del orden público. Se evitaron pérdidas de vidas en una comunidad que ocupaba 120 viviendas en 14 mil m ² calificados como 'situación de riesgo' (más detalles en: Rangel, 2006).
2004	Pisos superiores de la Torre Este del Parque Central	En setiembre de 2004 se desató un incendio en los niveles superiores de la Torre Este del desarrollo Parque Central, Caracas. Esta es una edificación de 64 niveles esencialmente destinada a oficinas y archivos de varias dependencias del Estado. Siete años después la parte afectada aún no se encuentra en servicio.
2005	Afectación de puentes por lluvias pertinaces	Según la información que da Torres (2006), en Venezuela hay unos 6125 puentes en servicio con una longitud total de 93328 metros: el 66% de los puentes tienen más de 40 años de servicio y el 22 % más de 50 años. Para ilustrar la vulnerabilidad, Torres (op. cit. p 275) señala que durante el 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".
2006-03-19	Desplome del Viaducto N°1 Autopista Caracas-La Guaira	Inaugurada en 1953, a inicios de 1987 se identificaron daños locales, los cuales fueron asociados a un antiguo deslizamiento en la ladera Caracas. El 21 de junio de 2007 el nuevo viaducto entró en servicio (Torres et al., 2009).
2007	Fuerte temblor en áreas urbanizadas al sur del río Orinoco	En noviembre de 2007 se sintió fuertemente un temblor en Puerto Ordaz, Ciudad Bolívar y otras localidades. Registros acelerográficos en la red de CVG-EDELCA . Efectos similares a los del temblor de Ciudad Bolívar del año 1953 (Grases, 1994). Aún cuando no son casos donde se reporten daños, se consideran suficientemente importantes como para tomarlos en consideración en futuras evaluaciones de la peligrosidad sísmica del área
2008	Lluvias torrenciales	En 2008 ocurrió una seria afectación del Municipio Costa de Oro del Estado Aragua y de severa afectación de la carretera. Se cayó un puente en sitio conocido como Baloche. Los sitios donde ocurrieron las afectaciones ya se habían señalado como vulnerables en un trabajo previo de predicción de lugares de alto riesgo en esa carretera (Buroz, 2010).
2009	¿Vientos huracanados?	Inestabilidad de siete torres de extra-alta tensión entre San Gerónimo y valles de El Tuy. No se conocen informes sobre el origen de este desempeño catastrófico.
2009-05-04	Fuerte sismo local	Sismo de magnitud 5.6 al sur de Los Teques, cerca de Las Tejerías. Estudio de su mecanismo focal, así como de los mecanismos de tres de sus réplicas de magnitud entre 4.4 y 4.0 sucedidas ese mismo mes, revelaron: (i) que el sismo y sus réplicas estaban asociadas a la falla de La Victoria; (ii) que se presentaron claros fenómenos de migración de focos de Este a Oeste (FUNVISIS, 2009).
2010, noviembre y diciembre	Lluvias pertinaces en la zona costera del norte	Afectación en áreas urbanas por deslizamiento de terrenos consecuencia de las intensas precipitaciones.

	del país	Inundaciones especialmente en los estados Falcón, Miranda, Nueva Esparta y Zulia. Reportes de los primeros días de diciembre hubo informaciones contradictorias sobre roturas del dique de Játira (Falcón); en el embalse de San Juan (Nueva Esparta), se abrieron compuertas de alivio luego de alcanzarse cotas críticas.
--	----------	---

X.2.- CAUSAS MÁS FRECUENTES

En la mayoría de los casos, la información técnica conocida sobre casos agrupados en la **Tabla X.1** es limitada; el registro de los resultados de estudios o trabajos de campo, generalmente formaron parte de los archivos propios de organismos del Estado. Su mejor interpretación en el momento, sirvió de guía en el medio profesional para reducir el riesgo de situaciones similares en las obras reparadas o reconstruidas, así como en el proyecto de otras similares. Las principales recomendaciones dirigidas a obras futuras comenzaron a influir las Normas del MOP a partir de mediados del siglo pasado aproximadamente.

X.2.1.- Tiro de Aire en Puentes

Se entiende por 'tiro de aire' la distancia entre la cota máxima del curso de agua que pasa bajo un puente y la parte inferior del mismo; el arrastre de vegetación agrava el problema. En el caso de puentes en arco, se considera equivalente a la sección no ocupada por líquido del puente. Limitaciones de información hidrográfica que han limitado el sustento en la toma de decisiones en este y en otros problemas como es el cálculo de las necesarias capacidades de alivio de embalses, han subsistido hasta tiempos más recientes.

- **Puente Carlos III de Caracas.** Las modificaciones hechas después de su pérdida en 1781, han perdurado hasta el presente. Aparentemente el empleo de los materiales seleccionados en su reparación han resistido subsiguientes crecientes de la quebrada Catuche desde aquella fecha sin mayor problema, o las condiciones locales de su cuenca han modificado los caudales de las máximas crecientes en los últimos 230 años.
- **Puente de Hierro sobre el río Guaire.** El volcamiento del Puente de Hierro por represamiento de troncos y ramas que formaron un dique, el día 7 de octubre de 1892, ocurrió pocos años después de su ejecución. Ese día cayó sobre Caracas una fortísima precipitación. Personal que laboraba en el ferrocarril Caracas-Santa Lucía, en la zona de El Encantado, Petare, describió el enorme volumen que, según el ingeniero Germán Jiménez, habría alcanzado 900 m³/seg. La crecida destruyó otros puentes que cruzaban el río Guaire: dos a la altura del sitio conocido como Canteras Miranda (2 km aguas abajo del actual puente Baloa), así como el puente de Arenaza, al inicio de la planicie de Santa Lucía (Urbani, ~ 1986). Pacheco Troconis (2002, p. 85) señala este año como uno de los más lluviosos; desde el oriente al occidente, la lluvia no cesó en dos días.
- **Puente sobre el río Chama.** Proyectado en 1923, en su momento fue uno de los mayores construidos en estructura metálica. Fue dañado por una gran crecida del río Chama en 1938. No se ha logrado consultar informes sobre las razones de estos daños.
- **Puente Colgante Libertador sobre el río Torbes.** Este puente, ubicado en la vía que va de San Cristóbal a Táriba y Palmira, estado Táchira, fue un proyecto o la supervisión de su instalación, estuvo a cargo del ingeniero Luis Vélez (**Nota**

1). Inaugurado en 1913, sufrió graves desperfectos 30 años después por una creciente del río Torbes probablemente por insuficiencia del tiro de aire. Se guarda memoria de esa excepcional crecida del citado río en la noche del día jueves 03 de junio de 1943.

X.2.2.- Socavaciones en las Fundaciones de Estribos de Puentes y otras Causas

En adición a los problemas de tiro de aire ilustrados en la sección anterior, la afectación de estas obras de infraestructura, especialmente por razones hidrometeorológicas y de mantenimiento, es muy extensa. Se ha señalado que en adición a las condiciones del suelo local (Ramírez, 2006; Capobianco, 2009), los saques furtivos de arena para la industria de la construcción ha ocasionando situaciones problemáticas en las bases de los estribos. El tema ha sido tratado por Franceschi y Sanabria (2006) quienes también indican medidas de remediación.

La mayoría de las pérdidas de puente han sido por accidentes, o problemas de mantenimiento (Torres, 2006; Lobo Quintero, 2009). A continuación se describen algunos casos.

- **Puente de acceso a Valencia viniendo de Caracas.** En 1820 este puente 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, material novedoso para esas fechas.
- **Puente de Abril o Guanábano en Caracas.** En la *Historia de la Ingeniería en Venezuela* de Eduardo Arcila Farías (1961, II, Figuras 93 y 94) se describe en forma muy somera uno de los casos propios de la ingeniería forense del siglo XIX. Se reproduce allí: “*El puente de Abril, destinado a convertirse en orgullo de la obra de ornato de Guzmán, causa de gran escándalo en la época por haberse derrumbado la víspera de su inauguración*” (leyenda de la citada Figura 93) y “*Puente de Abril. Detalles de su extraña estructura de arcos ojivales. Obra del ingeniero Roberto García*” (leyenda de la citada Figura 94) (**Nota 2**). El puente cruzaba el río en dirección aproximada sur-norte y se ajustaba a las diferencias de nivel de sus extremos, uniendo: “... *la ciudad por la Calle de Lindo en su parte norte*”; su diseño neogótico era sin duda atractivo. Tenía una longitud de 70 m y en su parte más alta alcanzaba los 21 m sobre el río. La sobre-estructura para formar el piso o tablero del puente, estaba conformada por: ‘*una sucesión de arcos de círculo*’; estos descansaban en los vértices de 5 ojivas, cuya amplitud variaba de 9.5 m a 12.35 m (**Nota 3**). Según unos, defectos de construcción, según otros el hundimiento del suelo por crecientes del Catuche, el puente se derrumbó poco antes de su inauguración. Dado que no era viable adoptar una solución de puente colgante porqué: “... *el terreno es flojo y no apto a soportar anclajes*”, se decidió ordenar una estructura de acero en Gran Bretaña, “...*liviana para resistir temblores*”. Fue así como la estructura quedó constituida por un par de vigas continuas de celosía, que descansaban sobre dos pilares centrales; fue armado y remachado en el lado sur de la calle y 'remolcado' a la orilla norte a través de la barranca (Zawisza, 1988, III, p. 279). Hoy en día es conocido como el puente del Guanábano. En la página LXII de la Memoria del MOP del año 1875 -la primera- se describe el “*Puente del Guanábano en Caracas*”. Dice: ‘*Aprobado el plano, levantado por el que suscribe (¿Muñoz-Tébar?)...se dio principio a sus trabajos en el mes de julio, y su dirección científica fue puesta a cargo del ciudadano Antonio Malausena*’. Acota más adelante que: ‘*Mucho se ha adelantado en esta obra, no obstante los serios inconvenientes ocasionados por las recias avenidas del río Catuche, por*

consecuencia de la fuerza del último invierno'. Probablemente refiere a eventos del año 1873 o años siguientes según descripciones de la época (véase Pacheco T., 2002, p. 78) (Nota 4).

- **Viaducto N° 1, Autopista Caracas-La Guaira.** Sobre el proyecto del viaducto N°1 y las condiciones locales de apoyo, su proyectista publicó un artículo descriptivo (Freysinet, 1953) en el cual señala que, de acuerdo con la información sobre las condiciones del terreno, en el diseño: “...solo se encontraría un buen terreno a profundidades irregulares”. Por esa razón se evitaron empotramientos en los apoyos, disponiendo allí las célebres ‘articulaciones Freysinet’, con lo cual: “...los momentos flectores en las bases se redujeron prácticamente a cero”. La consideración sobre eventuales sismos redujo de 3 a 2 el número de articulaciones del sistema portante y, el ingenioso proceso constructivo por partes, evitó el empleo de una cimbra apoyada en el terreno; de este modo se evitaba que aquella quedase expuesta: “...a los ciclones de las Antillas”. Luego del sismo de 1967 la estructura fue cuidadosamente inspeccionada y no presentó ningún daño visible. Cerca de 20 años después aparecieron las primeras manifestaciones visibles debido a los efectos de un macrodeslizamiento ubicado en la falda nor-noroeste del barrio Gramoven. La evolución de los desplazamientos progresivos del talud que desplazaron hacia el norte el sistema de fundación del lado sur, desde las primeras mediciones hasta fechas cercanas a su colapso se dan en Salcedo (2006). Las tasas de desplazamiento que hacia los años 90 se mantenían entre 1 a 2 cm/año, alcanzaron valores de 5 y más cm/día a poco de su colapso, con un visible levantamiento de la zona central del arco. Debe quedar claro aquí, que al proyectista no le fueron facilitadas fotografías aéreas de misiones disponibles en Cartografía desde 1936, cuyo análisis dos o tres décadas después de construido el viaducto revelaron la existencia de un macro-deslizamiento que afectaba el apoyo sur de la obra. La evaluación estructural del viaducto como consecuencia de las deformaciones impuestas, tanto en su plano como en la dirección ortogonal al mismo, así como las medidas para liberar las tensiones generadas en la estructura y mejorar su desempeño, fueron analizadas y descritas en Camargo (2006); en la parte final de ese trabajo, el autor discute el probable mecanismo de ruina. Una de las lecciones importantes de este caso está relacionada a las limitaciones en el estudio de sitio. A la empresa proyectista no se le suministró la información geomórfica -fotos aéreas del área- pues a finales de los años 40 se consideraba información militar reservada. A posteriori del terremoto de 1967 en fotos aéreas del año 1936 en adelante se identificó el macro-deslizamiento que finalmente destruyó el viaducto (Nota 5).

X.2.3.- Lluvias Torrenciales, Deslaves y Vientos Huracanados

En su libro *Iras de la Serranía*, el profesor Pacheco Troconis (2002) recoge un meticuloso historial de casos en los cuales las lluvias pertinaces ocasionaron deslaves en las vertientes de la Cordillera de la Costa; entre ellos los sucedidos en diciembre de 1999. Entre los múltiples eventos anotados en la **Tabla X.1** se retienen los dos que siguen.

- **Deslaves en la Costa actual de Estado Vargas.** A fines de febrero de 1951 precipitaciones torrenciales generaron deslaves en la costa del actual estado Vargas. En Macuto, el río del mismo nombre arrastró puentes y tramos del acueducto. Daños en viviendas y cultivos; 20 desaparecidos. El ingeniero A. Vincentelli fue testigo presencial y publicó sus observaciones (Vincentelli, 1999,

p 251-264). Interesa destacar que con anterioridad a ese evento y para darle más protagonismo al ferrocarril Caracas-La Guaira, el mantenimiento de la vieja carretera Caracas-La Guaira había sido interrumpido. Las lluvias de 1951 generaron deslizamientos, tanto en los taludes de la carretera como en los del ferrocarril, razón por la cual Caracas quedó aislada de su puerto durante cerca de un mes. Los daños en la vertiente norte fueron tan importantes que, en un artículo del profesor D.F. Maza Zavala sobre ese evento natural ('Las avenidas de las aguas', publicado en el periódico *El Nacional* del día 22 de febrero de 1951), se adelantó en el tiempo cuando dejó escrito lo siguiente: "...luego que pase el temporal, nadie más se ocupará del problema...y continuará la imprevisión, la esencia del problema...preparando futuras y más tremendas catástrofes, de las cuales serán víctimas los sectores humildes...las que llenan las cifras de estadísticas de muertos trágicamente en inundaciones y derrumbes." Esta cita del artículo del profesor Maza, tomada de Germán Pacheco Troconis (2002, p 112), puede considerarse premonitoria, pues fue lo que muy cercanamente ocurrió el año 1999.

- **Deslaves en la Cuenca del río El Limón, Aragua, 1987.** El domingo 6 de septiembre de 1987 llovió en forma pertinaz en las montañas del Parque Henry Pittier. Las cuencas de los ríos El Limón y Delicias, así como en las sub-cuencas de la vertiente sur de la cordillera, crecieron de forma desmedida y transformó ese fin de semana en día de luto. La mayor precipitación registrada fue en el picacho de Rancho Grande, estación en la cual se registraron 183 mm en seis horas (183 litros/m² de terreno); otras estaciones de la zona registraron valores algo menores. Los efectos de esta precipitación, equivalente a dos meses de lluvias típicas en la zona, en tan corto tiempo, fueron agravadas por dos hechos señalados por Pacheco Troconis (2002, p 116 y ss.): (i) las mismas sucedieron después de varios días de lluvias intermitentes que seguramente habrían embebido el suelo, y; (ii) ese año las zonas boscosas se vieron afectadas por un conjunto de incendios, lo cual creó condiciones favorables para la acción erosiva y desestabilización de vertientes. Las consecuencias de esta combinación de acciones fue explicada por Montes (1989), quien describió las condiciones geomorfológicas y topográficas que facilitaron movimientos rápidos de masa. **Los Efectos:** En la prensa del día 7 de setiembre se describen los efectos del aguacero que se inició a las 3 de la tarde y el desbordamiento, una hora después, del río El Limón; este afectó los sectores de Mata Seca, Circunvalación, La Candelaria -donde el agua rebasó el puente- Caña de Azúcar y alrededores. Miles de visitantes que regresaban ese domingo de las playas de Ocumare de la Costa, Cata y otras de la zona, o quedaron atrapados en los deslizamientos a lo largo de unos 30 km de vías, o tuvieron la suerte de quedar varados en esas localidades y fueron sacados posteriormente por medio de embarcaciones y helicópteros. La prensa del día 8 dio cuenta de una situación que inicialmente no se pensó que pudiese ser de tal gravedad, tanto en la vertiente norte como en la sur de la cordillera. En particular, las pérdidas en El Limón fueron considerables. El balance de la situación catastrófica arrojó los siguientes cómputos: 1422 viviendas afectadas; 7682 vehículos perdidos, enterrados o inutilizados; 3 puentes derrumbados; 43 km de vías afectadas. Sobre el total del número de víctimas poco se pudo saber; titulares del Diario de Caracas anunciaron: "*Miles de vidas se llevó una lluvia milenaria*". **Lecciones:** En diferentes análisis realizados por especialistas, quedaron recomendaciones generales: elevar el tiro de aire en los puentes de la zona, reubicar las áreas urbanizadas fuera de los

conos de deyección de eventos históricos o prehistóricos; tomar medidas preventivas en los sistemas de drenaje y mejoras en las vías de circulación. Entre la ayuda foránea, se instaló un sistema de alerta para anticipar a los habitantes de poblados situados en las cercanías de los ríos sobre posibles eventos similares.

Deslaves en Vargas, Diciembre de 1999. En el país se conocen descripciones de deslaves sucedidos en diferentes partes de los Andes y en la cordillera de la Costa. Entre los más importantes en la literatura se citan los de diciembre de 1999 (Pacheco Troconis, 2002). Muy pocas fueron las lecciones que trascendieron sobre los efectos del evento de 1951 ya mencionado, aún cuando las pérdidas fueron relevantes. **Naturaleza Excepcional.** Los deslaves de 1999 fueron catastróficos en diversos sectores de la sociedad. Entre las edificaciones que se perdieron, se encontraban algunas cuyos proyectos fueron aprobados por los organismos del Estado en terrenos ubicados en, o adyacentes a, cauces de flujos torrenciales de alta densidad. La ausencia de estudios de sitio, o simplemente evidencias similares a las que hoy en día son visibles, no fueron incorporadas en los planos de desarrollo urbano del área (López y García, 2006). La magnitud, así como las implicaciones en pérdidas humanas y materiales desde un comienzo mostraron la naturaleza excepcional de ese evento. Las investigaciones sobre los efectos y medidas preventivas fueron centralizadas en el Instituto de Mecánica de los Fluidos, Facultad de Ingeniería de la UCV. Los resultados de los estudios sobre este evento extremo, dieron origen a centenares de publicaciones técnicas, parte de ellas sintetizadas en el texto: *Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas Aportes Científico-Tecnológicos y Experiencias Nacionales en el Campo de la Prevención y Mitigación de Riesgos*, editado por el profesor José Luis López S. en 2009. **Reconstrucción y Prevención.** En 2010, el profesor Carlos Genatios presentó una cuidadosa revisión sobre los resultados de la acción del estado a diez años del evento. Destacó allí: “*La visión de reconstrucción y desarrollo del estado Vargas que fue planificada en 2000 y 2001, tiene que ver muy poco con la situación actual del estado*”. Se señala en ese trabajo un conjunto de limitaciones sobre las obras ejecutadas y los riesgos asociados, por no respetar los proyectos originalmente aprobados (Genatios, 2010, pp. 147-149).

- **Afectación de Puentes por Lluvias Pertinaces del año 2005.** Según la información que da Torres (2006), en Venezuela hay unos 6125 puentes en servicio con una longitud total de 93328 metros. 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. Para ilustrar la vulnerabilidad, Torres (op. cit. p 275) señala que durante el 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 interrupciones que fueron reportadas por la prensa. Una revisión de periódicos caraqueños de los meses febrero, marzo y abril de 2005, confirma la información de Torres (2006). Se omite la mención a desbordamiento de ríos, inundaciones y pérdida de vías, derrumbes, interrupciones por socavación u otras causas.

- **Derrumbe de siete Torres de la Línea de 750 KV: San Gerónimo-Valles de El Tuy.** Este caso está en estudio. El domingo 3 de Mayo de 2009 se cayeron 7 torres de las líneas eléctricas de 750 KV entre San Gerónimo y los Valles del Tuy. El sistema interconectado que opera está respaldado por la línea de 400 KV. El Presidente de CORPOELEC, ingeniero Hipólito Izquierdo, atribuyó el accidente a fuertes vientos; la falla de un conductor puede generar torsión y/o flexiones en la torre. Se estima que la reparación llevó dos meses.

X.2.4.- Sismos y casos de Licuefacción

Se anotan aquí eventos que aún son objeto de estudio sea por la aparente extensión de sus efectos, por sus características particulares o sus implicaciones en la estrategia preventiva. En cualquier caso, la situación particular de fenómenos de licuefacción ha sido constatada en múltiples sismos venezolanos a lo largo de los últimos 50 años (Acosta y De Santis, 1997), lo cual ha dado pie para que en las normas para el diseño de edificaciones sismo-resistentes vigente -COVENIN 1756:2001- se recomiende la toma de medidas preventivas (véase, por ejemplo, Amundaray, 2006).

- **Sismos del 26 de Marzo de 1812.** La primera evaluación de este sismo fue publicada por el ingeniero Centeno Graü en 1940. Sus efectos fueron interpretados en ese momento como un 'sismo triple', sin diferenciación en sus horas de ocurrencia, con áreas epicentrales en: Caracas-La Guaira; San Felipe-Barquisimeto; Mérida. Estudios recientes conducen a sustentar la hipótesis que el sismo de Mérida sucedió aproximadamente una hora después del de Caracas-La Guaira (Altez, 2005); este último no parece haber extendido sus efectos hasta San Felipe-Barquisimeto, sobre cuya hora de ocurrencia no se manejan hipótesis debidamente sustentadas. Hay evidencias más recientes en nuestra geografía sobre sismos 'disparadores' de otros sismos en la región; por ejemplo, el terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967 fue precedido en la mañana de ese mismo día, por un sismo destructor en San Cristóbal.
- **Terremoto Destructor en Cúa, Valles del Tuy.** Los efectos de este sismo local, sucedido el 12 de abril de 1878, fueron objeto de estudios de campo por parte del profesor Adolfo Ernst los cuales se consideran pioneros en Venezuela. Identificó, entre otros, efectos geológicos locales y emanaciones de agua caliente (Ernst, 1878a).
- **Terremoto de Los Andes Venezolanos, 24 de abril de 1894.** Este sismo ocasionó la ruina de Santa Cruz de Mora, Tovar, Mérida y Zea, así como daños considerables en Mesa Bolívar, San Cristóbal, Guaraque y otros pueblos; 319 víctimas reconocidas. Considerado como el último gran sismo de los Andes venezolanos, este evento afectó severamente la línea férrea Santa Bárbara-El Vigía. El Ministerio de Obras Públicas publicó la relación de daños que envió la Inspectoría Nacional de ese ferrocarril al ciudadano Ministro, con base al informe de campo elaborado por Brun (1894). Se informó allí que: de Santa Bárbara al km 27+800 hacia El Vigía, los puentes no habían sufrido y las máquinas funcionaban sin interrupción. De esa distancia en adelante se constataban las desviaciones y hundimientos de la línea férrea, descripciones propias de fenómenos de licuefacción como el volcamiento de grandes árboles, hasta llegar al km 48. El puente de Los Cañitos: “...*está completamente deteriorado; una parte fue desviado un metro hacia arriba y la otra parte 2 metros hacia abajo*”. El puente del km 51: “*Está torcido con curva y contracurva distante el máximo a 1 metro y está intransitable*”. El puente Vergnes (sic) sufrió hundimientos en las cabezas del puente, así como en el puente

Affluent (sic) del Bubuqui N° 1. También se da información sobre el estado de los puentes de Arenosa, Pedregosa, Bubuqui N° 2. Durante los días 1, 2 y 3 de este mes: *“los temblores de tierra se sentían continuamente con fuertes trepidaciones de día y de noche...se sentían caer, de la montaña inmediata a la línea, árboles más o menos corpulentos”*. Sievers und Friederichsen (1895) también reportan fenómenos de licuefacción sobre este sismo.

- **Terremoto Destructor con Epicentro en el Litoral Norte Central.** Sucedió el 21 de Octubre de 1900, este sismo fue registrado en la primera red mundial de sismógrafos instalada por John Milne; magnitud asignada por Gutenberg and Richter (1949) igual a 8.4, posteriormente fue reducida a 7.8 (Fiedler 1988). Hay reportes descriptivos de daños en Guarenas y Guatire, así como marejada en la desembocadura del río Neverí, Barcelona. La pérdida del puente sobre el río Tuy, línea férrea Carenero-Río Chico, se debió a licuefacción local del terreno (**Notas 6 y 7**).
- **Terremoto de El Tocuyo, agosto de 1950.** Este evento, sucedido el día 3 de agosto de ese año, ha pasado a la historia como un sismo en el cual la acción de los tractores destruyó más monumentos históricos que las vibraciones del terreno. Se enviaron misiones de Ingenieros Estructurales y de Geólogos (Ponte et al., 1950); con base a los resultados de los trabajos de campo se elaboró un mapa de isosistas (Mas Vall, 1950).
- **Terremoto de Caracas, 29 de julio de 1967.** A las 8 PM de un sábado, hubo cerca de 300 víctimas por la caída total o parcial de edificaciones en áreas de Caracas y Caraballeda. Se constató licuefacción y deslizamiento de masas hacia el lago de Valencia, de varias hectáreas ribereñas, cercanas a Güigüe, unos 100 km al oeste-suroeste de la zona epicentral. Sismo de particular interés para la ingeniería sismo-resistente, pues afectó un área de la ciudad -Los Palos Grandes y adyacencias- con depósitos aluvionales recientes, en los cuales se encontraba una muestra de un centenar de edificaciones de varios niveles, con estructuras de concreto armado proyectadas y construidas con normativas similares a las norteamericanas. La acción sísmica en esa zona fue lo suficientemente intensa para ocasionar daños importantes en unas cuarenta estructuras, de las cuales cuatro se desplomaron; el resto señaló el mecanismo que las conducía a ese estado último y quedaron en pie al terminar las vibraciones el terreno cuya duración total fue, afortunadamente, limitada. Todo un laboratorio para los especialistas interesados en el tema.

X.2.4.1.- Los Sismos Distantes

El 19 de Marzo de 1953 en Ciudad Bolívar se reportó un temblor ‘fuertemente sentido con desplazamiento de objetos’ según testimonios de la época. Años después, la coincidencia de fecha y horas permitió asociar ese evento a un sismo de magnitud 7.5, con foco a 135 km de profundidad y epicentro cerca de la costa occidental de la isla de Santa Lucía en las Antillas Menores. Este fue uno de los varios sismos asociados al arco de las Antillas Menores estudiados por J. Dorel (Dorel, 1981). Se planteó como interrogante la muy baja atenuación para que un foco a más de 700 km de distancia alcanzase a sentirse en forma tan intensa por la población del estado Bolívar (Grases, 1994).

El 29 de noviembre de 2007, un nuevo evento sísmico con epicentro más septentrional, entre Martinica y Dominica, de magnitud 7.4 y foco de profundidad comparable, 143 km, fue fuertemente sentido en la región de Guayana-Ciudad Bolívar. Percibido durante cerca de dos minutos en sectores como: Puerto Ordaz, Macagua,

Altavista, Caruachi y Guri. En esta oportunidad la información descrita quedó acompañada por registros instrumentales de la red acelerográfica instalada en el bajo Caroní (CVG-EDELCA, 2007). En la **Tabla X.2** se compara la información de los dos eventos.

TABLA X.2 COMPARACIÓN DE SISMOS CON FUENTE EN LAS ANTILLAS MENORES. EFECTOS CONOCIDOS EN GUAYANA

FECHA	M _S	COORDENADAS EPICENTRALES		h (km)	ACELERACIÓN REGISTRADA Y DISTANCIA AL FOCO (R)	EFECTOS CONOCIDOS EN LA GUAYANA VENEZOLANA
		Latitud N	Longitud W			
1953-03-19	7.5	14.10	61.21	135	No hubo registros acelerográficos. Foco distante unos (R = 720 km)	Fortísimo temblor sentido en Ciudad Bolívar. Fue de larga duración; se mencionan testimonios que dan entre 2 y 4 minutos. Muchos objetos desplazados.
2007-11-29	7.4	14.95	61.24	143	36.6gal (R= 752 km)	Fuertemente sentido en Puerto Ordaz durante más de 2 minutos.
					67.6gal (R = 817 km)	

Observaciones como las anteriores merecen atención por parte de nuestros sismólogos. Con relación a este tema el profesor Luis D. Beauperthuy, Universidad de Oriente, ha comentado que sismos de profundidad intermedia, con epicentros en los alrededores de Paria, en varias ocasiones se han sentido fuertemente y han provocado alarma en la población de Ciudad Guayana, sin que se haya sentido en puntos intermedios como Maturín o Caripito, así como tampoco en Carúpano, Cumaná ni Margarita, acaso débilmente en Güiría. Las razones de esta particularidad están pendientes de investigación, así como la eventual consideración de su influencia en futuras actualizaciones de los mapas de zonificación sísmica vigentes (Beauperthuy, 2010).

X.2.5.- Maremotos de Fuente Local y Marejada de Fuente Distante

Marejadas asociadas a sismos con fuente cercana a la capital del estado Sucre se han descrito en varios sismos pasados. De los que se citan en la **Tabla 1** hay dos similares en sus descripciones conocidas: el de 1853 y el de 1929. No obstante, la marejada en el muelle pesquero de Cumaná -moderada pero concurrente con el temblor de Cariaco de 1997-, con epicentro unos 75 km más al este de la capital del estado Sucre, no parece haber sido consecuencia de una perturbación tectónica local; sobre los efectos en Cumaná, en la **Sección 3** se trata el caso de un edificio desplomado. No se ha descartado que el origen de esta última marejada haya sido un deslizamiento submarino local, en áreas donde las batimetrías revelan fuertes pendientes; en ellas parece posible que los arrastres del Manzanares se depositen en un estado de equilibrio precario.

El tema merece una investigación más detallada, pues no hay razones para negar que eventos sísmicos históricos puedan haber tenido un origen similar. Su eventual confirmación facilitaría acciones preventivas.

X.2.6.- Huracanes

Resulta fácil comprobar que eventos como los que se describen más abajo y otros estudiados en la literatura sobre el tema (véase Gutiérrez, 2006), revelan que el mapa de velocidades básicas de viento en Venezuela contenido en la Norma COVENIN 2000 del año 1986, vigente, no refleja adecuadamente las velocidades propias de vientos huracanados y por tanto requiere actualización. Esta tarea ya fue emprendida por CANTV para la verificación contra acciones eólicas de sus torres de microondas en el nor-orienté del país (CANTV, 2007). Sobre el último de estos eventos se acompaña una breve descripción.

- **Huracán de 1933.** En junio de este año, la parte nor-oriental de Venezuela fue afectada por el paso de este huracán. Según NOAA esta perturbación fue de diámetro relativamente limitado, aún cuando las velocidades seguramente debieron ser elevadas por los efectos destructores conocidos en: el sur de Trinidad, los estados Monagas y Sucre y la costa de Nueva Esparta (Singer et al., 1983). La ruta señalada por NOAA, la cual habría pasado por Curazao, no se ajusta a detalladas descripciones recogidas por Gómez R. (1983), cronista de la isla de Margarita, así como el mapa publicado por el Director del Observatorio Cajigal en ese momento Röhl (1945). Estos testimonios no dejan lugar a dudas que el ojo del huracán recorrió la costa oriental de Nueva Esparta, antes de seguir hacia el noroeste rumbo a la isla de Pinos, Cuba, y alcanzar Tampico en la costa Mexicana.

X.2.7.- Sobrecargas Accidentales o Imprevistas

En adición a los casos de cargas accidentales en puentes ya mencionados en la **Sección X.2.2**, la imprevisión en obras de infraestructura ha generado costos accidentes. Por ejemplo en el muelle de La Guaira, una de las filas de pilotes que soportan el muelle donde acostaba el submarino El Carite, falló como consecuencia de la imprevisión de la maniobra. Luego de su reparación se efectuó una prueba de carga que alcanzó 1.1 ton/m². A continuación un caso ilustrativo de una carga imprevista.

- **Puente sobre el Río Cabriales, Valencia.** El 27 de abril de 1880, el día de la inauguración del puente La Quinta sobre el río Cabriales, no soportó la carga impuesta por las 4 mil personas presentes de las cuales unas 500 se encontraban sobre el tablero del puente: la sobrecarga hundió el puente. Fallecieron tres personas y hubo 69 heridos entre los cuales el proyectista. El puente fue reconstruido inmediatamente después (**Nota 8**).

X.2.8.- Corrosión en Concreto Armado

En nuestra literatura sobre la construcción de obras hechas a base de concreto armado se conocen múltiples casos de corrosión. Por ejemplo, en el Faro de Los Roques ubicado en las isla del mismo nombre, el ingeniero Manuel Cipriano Pérez restituyó a inicios del siglo XX parte de la estructura metálica original construida en 1874, por una obra nueva de concreto armado (Hernández Ron, 1975, p. 43). Por su reducido recubrimiento y la agresividad del ambiente marino, esta obra se deterioró con el tiempo. Son numerosos los muelles afectados por la acción corrosiva; Velazco (2006) describe un caso en la costa del estado Falcón.

El caso de la corrosión de la estructura de concreto armado del Hospital Universitario del Zulia a finales de los años 50, marcó un antes y después, ya que se estudió con detenimiento las razones de los daños que fueron apareciendo (Paparoni, 1963; De Sola, 1964). Este, brevemente descrito más abajo, fue un importante antecedente cuando se emprendió la construcción del Puente Rafael Urdaneta sobre el

lago de Maracaibo, inaugurado en 1961. Se exigieron en aquel momento controles muy estrictos con el fin de limitar los contenidos de cloruros y otras sales en los agregados empleados en el concreto de la infra y super-estructura. Con todo, la obra ha sido objeto de evaluaciones e intervenciones permanentes pues las condiciones ambientales del área son particularmente agresivas (véase: Troconis de Rincón et al. 2009).

- **Hospital Universitario del Zulia.** A mediados de los años 50 se inició la construcción de la estructura de concreto reforzado más grande del país, destinada a ser el Hospital Universitario del Zulia. Pocos años más tarde se detectaron agrietamientos asociados a corrosión de los refuerzos de acero de esa estructura. Hechos los estudios, se determinó que el origen de dicha corrosión se encontraba en los 'saques' de arena ubicados hacia Santa Cruz de Mora: una antigua salina ubicada al norte de Maracaibo (De Sola, 1964) (**Nota 9**).

X.2.9.- Incendios y otros Accidentes

En la **Tabla X.1** se alude al incendio del Coliseo o Teatro Caracas en 1919, sobre el cual hay muy escasa información. Igualmente, se menciona el decreto de fundación de Ciudad Ojeda en 1937, luego del incendio que arrasó Lagunillas en la costa oriental del lago de Maracaibo. Esta fue una iniciativa mixta entre el Estado y las compañías petroleras que operaban en el área.

- **Choque de un Tanquero contra el Puente sobre el Lago en 1964.** El Puente Rafael Urdaneta sobre el Lago de Maracaibo se inauguró el 24 de agosto de 1962. Con una longitud cercana a los 9 km, consta de 135 pilas, algunas de las cuales sobre pilotes de 60 m de longitud (Consorcio Puente Maracaibo, 1963). El 6 de abril de 1964, poco antes de media noche, el barco "Esso Maracaibo" chocó contra las pilas 31 y 32 del puente. Los zulianos pensaron que había sucedido un desastre natural y tomaron las calles (El Universal, 100 años). 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. De inmediato se procedió a contactar a personal de la Facultad de Ingeniería de LUZ, con el fin de realizar un levantamiento de la ubicación del tanquero (Henneberg, 2009, pp. 4 y 5; Figura 5). Mediante grúas se procedió al retiro de más de 400 toneladas de escombros y se planificó la reparación de los daños. Esta se inició con el hincado de nuevos pilotes, tarea esta que culminó el 30 de julio. Luego de reconstruir las vigas postensadas, estas fueron colocadas sobre las nuevas mesas de apoyo y el 9 de octubre, el puente se encontraba totalmente reconstruido. La ingeniería de esta reparación fue hecha por ingenieros venezolanos pertenecientes a: Consorcio Puente Maracaibo, Facultad de Ingeniería de LUZ y MOP. Sobre los temas de evaluación, corrosión y rehabilitación, véase: Troconis de Rincón et al., 2009.
- **Incendios en la Torre Europa, Caracas, 1977 y 1998.** Proyectada en 1971, esta torre fue Premio Nacional de Arquitectura en el año 1976. La estructura de concreto armado de esta edificación alcanza unos 14 niveles incluidos los sótanos. En 1977 sufrió un incendio en los niveles 7 y 8. Años después, en febrero de 1998, sucedió un segundo incendio que afectó los niveles 11 (piso 4) al 13 (piso 6), aparentemente más intenso y de mayor duración que el primero. Esta estructura fue reparada en ambos casos. **Breve Descripción de la Estructura.** De acuerdo con lo señalado por Maglione (2007), el sistema estructural de esta edificación estuvo condicionado por quedar en el cono de aproximación del aeropuerto de La Carlota, Caracas. La limitación de altura se

satisfizo alternando un nivel rígido (losa nervada de 35 cm de alto en el sentido más corto de 7.9 m, con vigas de alturas hasta de 1.05 m y 60 cm de ancho, en el sentido largo de 9.8 m), con un nivel blando (losa tipo reticulado celular de 35 cm de altura, con macizados o vigas planas, apoyadas en las columnas formando grandes capiteles rectangulares). Con una planta rectangular, los pórticos en el sentido este-oeste están separados 7.93 m; la longitud total de esos pórticos es de 23.18 m tiene dos parejas de pórticos separados 3.05 m, con una luz libre central de 9.76 m y dos voladizos en sus extremos de 3.66 m ($3.05 \times 2 + 3.66 \times 2 + 9.76 = 23.18$ m). En el sentido norte-sur, las vigas de los pórticos son acarteladas, con una luz libre de 7.93 m. **Primer Incendio.** El incendio se limitó a los niveles 7 y 8 de la torre. Clausuradas estas áreas para su reparación, los pisos no afectados siguieron en operación, incluidos los servicios de los ascensores. Fue necesario intervenir un total de cinco pórticos (del pórtico 5 al 9, ambos incluidos). El orden de trabajo fue por parejas de pórticos afectados, dejando uno intermedio sin reparar; o sea, demolición del concreto afectado en los pórticos 9 y 7, vaciado del pórtico 9. Con posterioridad, demolición del concreto del pórtico 5 y vaciado del pórtico 7. **Segundo Incendio.** Por sus características, este incidente se consideró de mayor gravedad que el primero y la torre fue desocupada totalmente. Este incendio sucedió 21 años después del primero y afectó los pisos 4, 5 y 6. El trabajo de reparación fue ejecutado por la firma Centeno-Rodríguez e incluyó, siempre según Maglione (2007). En adición a una minuciosa inspección técnica visual, se efectuaron un conjunto de mediciones y ensayos (**Nota 10**). **Estrategia de Intervención.** Con base en la información acopiada, las intervenciones sobre la estructura afectada fueron planificadas para restituir la capacidad portante de la estructura original. En algún caso particular, como por ejemplo la losa del piso 6 (nivel 13), resultó económicamente más conveniente su demolición y reconstrucción. Dado que en los pisos donde las columnas estaban vinculadas a las vigas altas, tenían una mayor rigidez. En esos casos, la imposición de desplazamientos por temperatura generó fisuras. Las columnas adyacentes al tramo central de 9.76 m (dirección este-oeste) sufrieron grietas por corte las cuales fueron reparadas con armadura ortogonal a la dirección de las grietas.

- **Incendio y Explosión en la Planta Tocoa, Arrecifes, estado Vargas, 1982.** El 19 de diciembre de 1982 aproximadamente a las 6:15 AM, se produjo una de las tragedias más dramáticas de Venezuela. En la planta de generación eléctrica de Tocoa, ubicada en Arrecifes, litoral central, se inició un incendio que ocasionó la muerte de 180 personas entre bomberos, personal técnico de la planta, 10 reporteros que cubrían el evento en el sitio y algunos lugareños. La primera explosión se produjo en el tanque numero 8 al momento en que descargaban 16 mil litros de combustible provenientes del 'barco banquero' Murachí. En horas del mediodía el fuego del tanque numero 8 parecía controlado, pero a las 12:35 PM explotó el tanque numero 9, lo que provocó una oleada de fuego que se extendió por toda la zona. La explosión se llevó a su paso a todo el personal que a esa hora se encontraba combatiendo el incendio, entre ellos la unidad completa del Cuerpo de Bomberos Aeronáuticos, 42 efectivos del Distrito Federal y diez trabajadores de la prensa. Las llamas se extendieron hasta personas y viviendas cercanas a la planta, así como embarcaciones de pescadores que fueron alcanzadas por una capa de fuel-oil encendido que se deslizó por la playa. El incendio fue consecuencia de una transferencia de calor entre los depósitos. Se ordenó una investigación de los hechos, pero no se llegaron a divulgar los

resultados (El Univ. 100 años). El Colegio de Ingenieros realizó una extensa investigación sobre el caso que dio origen a un documentado *Plan Frente a Contingencias* (CIV, 1983).

- **Accidente en el teleférico de Mérida el año 1991.** Este accidente, dejó un balance de dos víctimas (no se posee mayor información sobre este caso).
- **Incendio en la Torre Oeste del Parque Central en 1992.** Conmoción entre los miles de empleados que laboran en esa Torre.
- **Excavadora Intercepta Tubería de Gas en Las Tejerías, estado Aragua.** En 1993, una excavadora operaba en las cercanías del hombrillo norte, vía este-oeste, de la Autopista Regional del Centro. Este equipo consistía de una gran rueda dentada, de ancho limitado, para generar un canal en el cual debía disponerse una línea de fibra óptica. A la altura de Las Tejerías, los dientes con punta de diamante de la excavadora interceptaron la parte superior de una tubería de gas, cuya perforación ocasionó una súbita fuga e ignición de gas a presión. El caso resultó particularmente catastrófico por la desafortunada coincidencia de que, por razones de mantenimiento, el canal de circulación de la autopista en sentido oeste-este se encontraba fuera de servicio y el congestionado tráfico circulaba lentamente en los dos sentidos, a pocos metros de la excavadora. La bola de fuego que acompañó la súbita fuga de gas, envolvió vehículos y autobuses causando un total estimado en 70 víctimas y numerosas personas con quemaduras generalizadas. Para precisar eventuales responsabilidades de esta trágico accidente, la discusión se centró en el cumplimiento de las normativas de PDVSA sobre la profundidad mínima de enterramiento que debían respetar las tuberías de gas bajo el nivel de la superficie del terreno. El caso fue llevado los Tribunales.
- **Incendio en los pisos superiores de la Torre Este del Parque Central en 2004.** En setiembre de 2004 se desató un incendio en los niveles superiores de la Torre Este del desarrollo Parque Central, Caracas. Esta es una edificación de 64 niveles esencialmente destinada a oficinas y archivos de varias dependencias del Estado. De origen aún desconocido, tuvo una duración estimada de 20 horas. El proyecto de estas torres se inició en 1970, su construcción culminó en 1980 y su ocupación en 1983. La propagación vertical del fuego hacia los niveles superiores no ocurrió internamente por deterioro de las macro-losas, sino por la parte externa del tubo perimetral de concreto. La reserva resistente de las macro-losas, limitó los daños a las estructuras de acero de varios niveles, comprendidas entre dos macro-losas. La información aquí sintetizada proviene de la recopilación hecha por Maglione (2007). **Breve descripción de la Estructura.** Se trata de un tubo perimetral de concreto armado, segmentado, con 5 macro-losas de concreto pretensado. Estas macro-losas, de 47 m de luz libre y alturas de 2.90 y 2.10 m están conectadas a vigas de grandes dimensiones. Los cables de pretensión tenían recubrimientos de 10 cm de concreto y armadura de acero dulce inferior. Soportan 5 edificios individuales de acero dentro del tubo; estos son de: 14, 12, 12, 10 y 5 niveles diseñados solo para cargas verticales. En los entrepisos de acero corrugado se empleó concreto liviano para aligerar el peso total de la edificación. Estas cargas, en su totalidad, así como las sísmicas, son finalmente tomadas por la estructura de concreto armado. La parte inferior de las macro-losas era tipo "waffle" (reticulado celular), en cuyos espacios podía presentarse efectos de acumulación de aire sobrecalentado; no se constataron daños en esas áreas. La altura total de la edificación es de 237 metros: 59 niveles estructurales, más 5 niveles superiores. El concreto exigido fue de 320 kgf/cm²

con 10% fractíl y aceros de calidad no conocida (probablemente 4000 kgf/cm²). **Circulación Vertical.** El sistema de escaleras internas, mayoritariamente metálicas, en múltiples niveles se encontraba obstruido y dificultó el ascenso a niveles superiores; los bomberos tuvieron que romper algunos de esos seguros. En la mitad de cada fachada, parcialmente sobresaliendo de ellas, se encuentran los cuatro ascensores. **Rociadores y Controles Anti-fuego.** Aparentemente, las bombas que envían agua a estos sistemas no operaron. Los bomberos no pudieron apagar el incendio por razones de la altura del edificio y el volumen de material combustible -papelería, planos, muebles apilados- avivó el fuego. **Daños.** El fuego afectó los 22 pisos superiores, particularmente a los edificios interiores de acero. Columnas largas y el entramado de vigas metálicas sufrieron deformaciones locales severas. Por tanto aún cuando las estructuras de acero no colapsaron, hubo fallas en los elementos periféricos de soporte. Los exámenes sobre muestras de concreto revelaron que estas sufrieron una cierta afectación en sus caras internas, donde la acción del fuego fue más intensa. En especial se evaluó la afectación de altas temperaturas en el recubrimiento de las vigas

Las ventanas exteriores, estallaron con el calor, lo cual facilitó el ingreso de oxígeno con la consiguiente efecto chimenea. **Reparaciones.** Todos los miembros de acero fueron reemplazados en los 21 niveles afectados. Extensas áreas del concreto de recubrimiento, especialmente en la parte inferior de las vigas periféricas, tuvo que ser removida antes de aplicar grouting externo. Una de las partidas más costosas de esta reparación fue la sustitución de todas las ventanas de este edificio por vidrio laminado doble, de mayor espesor. La reparación de daños estimada inicialmente en dos años, ya lleva más de siete y la edificación aún no ha entrado nuevamente en servicio (**Nota 11**). **Lecciones.** Una concepción que ofrezca una reserva adecuada a las acciones sísmicas, también ofrece una reserva adecuada a fallas parciales, en este caso por fuego. Los sistemas de rociadores y otras medidas preventivas contra incendios requieren mantenimiento preventivo. Las vías de escape deben dejarse libres y no emplearlas como depósito. Los archivos históricos como los que se perdieron, deben disponerse en estructuras donde no concurren otras actividades que puedan generar incendios accidentales.

X.2.10.- Embalses. El tema de los embalses solo es mencionado tangencialmente en la **Tabla 1**. Se cita allí la reparación de una fuga en el embalse de Caujarao -el primer embalse construido en el país- proyectado y construido por el ingeniero Luciano Urdaneta. Este advirtió, antes de finalizar la obra en 1866, que era necesaria una inversión adicional en la parte central del mismo, inversión que no fue aprobada. Hacia el año 1910 o 1911 se ejecutó la 'taponadura' con concreto, lo cual quedó descrito en un trabajo publicado luego del fallecimiento del ingeniero Urdaneta (Urdaneta, 1912). En cualquier caso ese embalse, que en su momento resolvió el problema del agua en Coro, hoy está colmatado (**Nota 12**).

- **Pérdida de la Represa de El Guapo, Diciembre 1999.** Las lluvias pertinaces de diciembre de 1999 superaron la capacidad de alivio de este embalse. El impacto de la ola arrasó entre dos y tres puentes aguas abajo en el tramo carretero El Guapo-Cúpira, estado Miranda. El número de víctimas fue reducido, gracias a las advertencias hechas vía helicóptero por las autoridades del área. La capacidad de alivio de la nueva represa de El Guapo, ubicada en el mismo sitio, es unas 10 veces mayor (C.G.R., 2000; Prusza, 2003).

X.3.- DERRUMBE DE UN EDIFICIO EN CUMANÁ

Como consecuencia del sismo de magnitud 6.9 del mes de julio de 1997 con epicentro en las cercanías de Cariaco, esta localidad y sus alrededores sufrieron daños graves, con pérdida de vidas, viviendas y dos edificaciones escolares. A unos 75 km de distancia del epicentro hacia el occidente, en la zona oeste de Cumaná, se desplomó un edificio de 7 niveles y sótano con un trágico balance de más de 30 víctimas (**Nota 13**). El sitio donde se encontraba construido fue investigado por medio de estudios de suelos y geofísicos hasta 45 m de profundidad, sin alcanzar estratos rocosos; a esa profundidad aún se encontraron depósitos muy recientes con restos de conchas marinas.

Proyectado a mediados de los años 70 esta edificación presentaba irregularidades tanto en planta como en elevación; irregularidades del mismo tipo son fuertemente penalizadas en las normativas vigentes -Norma COVENIN 1756:2001- tanto en Venezuela desde 2001 como en otros países. Las autoridades competentes ordenaron un estudio exhaustivo del caso, el cual fue realizado con singular maestría por el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Facultad de Ingeniería, UCV (IMME, 1998). Como información de mucho valor para la ejecución del citado informe técnico, se contó con el registro de los movimientos fuertes del terreno en predios de la UDO, en una estación de registro fundada en suelo tipo roca; su distancia y azimut al epicentro se consideraron similares a los del edificio derrumbado.

En adición al Informe que aquí se comenta (IMME, 1998) solo se ha hecho mención a aspectos puntuales que se dan en las **Notas 14 a 22** citadas en esta **Sección X.3**. Para la mejor comprensión del caso es preciso conocer los alcances de las Normas vigentes para la fecha del Proyecto: (i) la Norma que con carácter provisional aprobó el MOP en 1967, y (ii) la Norma MOP 1967 para Diseño de Concreto Armado por Teoría Clásica.

X.3.1.- La Norma Provisional del MOP (1967)

X.3.1.1.- Aspectos Generales

En su Introducción, la Comisión de expertos que elaboró ese documento provisional, aprobado tres meses después del terremoto cuatricentenario de Caracas sucedido el 29 de julio de 1967, estableció en su segundo párrafo lo siguiente: “*Con base al resultado de los estudios que practican las Comisiones..., se elaborarán en un futuro próximo nuevas normas antisísmicas que sustituirán la hoy promulgada.*”(Nota 14). En el tercer párrafo de la citada Introducción, se advirtió lo siguiente: “*...es conveniente repetir que el cálculo antisísmico en la forma aquí recomendada, o en la de otras normas extranjeras, no constituye ni puede constituir garantía absoluta contra los graves daños de los terremotos, que envuelven factores muy diversos y cuyos efectos solo se logran conocer por el análisis de las observaciones obtenidas con la repetición de tan peligrosos elementos destructivos de la naturaleza*” /Subrayado nuestro/. Advertencia acertada, vista con la perspectiva de los efectos destructores de sismos que han venido sucediendo a nivel mundial a lo largo del últimos 44 años, desde la redacción de esa frase en 1967.

Más adelante, al tratar sobre el ámbito de aplicación, en el Artículo 2 de esa Norma se indicó que: “*Esta Norma será aplicable a todas las edificaciones que proyecte o ejecute la Dirección de Edificios del Ministerio de Obras Públicas*”; en su segundo párrafo advirtió que: “*Las prescripciones contenidas en esta Norma no son aplicables al cálculo de otras obras civiles*”. Algunos Municipios acogieron esta Norma por vía de Decretos. Para dilucidar dudas que pudieran presentarse en su aplicación, en los Artículos 4, 13 y 15 de la Norma se hizo alusión a la: “*...Autoridad Competente...*”.

No se indicó allí quienes conformaban dicha autoridad; podría sobrentenderse que estuviese constituida por la Comisión de los diez profesionales que fueron designados por el Ministerio de Obras Públicas para elaborar ese documento. Sin embargo, de ellos, solo uno formó parte de la Comisión redactora de la Norma COVENIN 1756 que, en 1982, sustituyó esa norma provisional del MOP por otra más moderna. Lo anterior solo es para destacar que en el caso particular que aquí se presenta, como se verá, no intervino la Autoridad Competente.

X.3.1.2.- Incorporación de los Efectos del Subsuelo

X.3.1.2.1.- Normas Anteriores a 1967

En las normas de 1947 y 1955, ambas del MOP, se estableció una distinción de los suelos en cuanto a su capacidad portante como material de fundación. Las acciones sísmicas a ser aplicadas sobre las estructuras a ser diseñadas, esencialmente no dependían del tipo de subsuelo.

X.3.1.2.2.- La Norma Provisional del MOP, año 1967

Inmediatamente después del sismo del 29 de julio de 1967, se decidió la actualización de la norma sísmica vigente desde 1955. En ese nuevo documento se incorporaron los efectos del subsuelo constatados tanto en el valle de Caracas como en el área de Caraballeda, al igual que en otros sismos sucedidos en otros países. La premura y el carácter provisional de ese documento, no facilitó la incorporación de formas espectrales, información necesaria para emplear la opción que se dio en esa Norma Provisional para calcular edificios con más de 20 pisos o con una altura mayor de 60 m. En estos casos y de acuerdo con el Artículo 4 se exigió, además del método estático equivalente: “...la aplicación, debidamente aceptada por la Autoridad Competente, de procedimientos de análisis dinámico...” (**Nota 15**). Esto se resolvió 15 años después de la promulgación de esa Norma Provisional del año 1967, cuando se aprobó la Norma COVENIN 1756:1982.

X.3.1.2.3.- Influencia del Subsuelo y Coeficientes Sísmicos de Diseño

En el Artículo 6 de la Norma Provisional de 1967, se diferenciaron los suelos de fundación tipo ‘roca’ de aquellos denominados ‘aluviones’, los cuales quedaron caracterizados como: “...todo depósito detrítico, resultante de la acción de los ríos modernos, tales como: sedimentos en los lechos de los ríos, planos aluviales, planos de inundación, planos de lagos, conos al pie de las montañas, estuarios y deltas”. En la Tabla 1 de ese documento, para tales depósitos de aluviones el coeficiente sísmico de diseño correspondiente a edificios destinados a vivienda; por ejemplo en la zona sísmica de mayor peligrosidad -donde se encuentra ubicada la ciudad de Cumaná-, era igual a 0.06.

Dado que para las fechas de promulgación de la Norma Provisional del MOP los criterios de diseño de estructuras estaban basados en la teoría de esfuerzos admisibles, para comparar los coeficientes sísmicos de diseño establecidos en la Norma provisional, con los coeficientes resistentes obtenidos a partir de espectros reducidos por factores de ductilidad mayores que la unidad y criterios de evaluación asociados a los estados últimos, es preciso un factor de reconciliación. Conservadoramente, esta reconciliación implica multiplicar por 1.6 los coeficientes de la Norma. Es decir, el coeficiente sísmico de diseño a los fines de su comparación con análisis hechos a base de espectros a nivel cedente y diseños basados en los estados últimos, para Cumaná resulta ser igual a 0.10. Esto debe tenerse presente para comprender las **Secciones X.3.5** y **X.3.6** que se dan más adelante.

X.3.1.2.4.- El Caso Particular de Sismos Distantes

Debe señalarse aquí, que hoy en día, año 2012, es un hecho reconocido en las normas vigentes que un suelo clasificado como 'suelo blando', en caso de estar ubicado en áreas distantes de la fuente de liberación de energía, de acuerdo con la experiencia es muy probable que genere amplificaciones con predominio en las frecuencias propias de vibración; este hecho no era conocido ni advertido en la Norma de 1967. Lo anterior, confirmado en registros reales y por vía analítica, se ha incorporado en documentos normativos modernos como por ejemplo las versiones de los años 1982 y 2001 de la Norma COVENIN 1756 para el diseño de edificaciones sismo-resistentes.

Además, también es sabido que el empleo de fundaciones directas en los suelos antes mencionados, da lugar a sistemas más flexibles; esto implica desplazamientos mayores, todo lo cual tiende a generar efectos de segundo orden que pueden mermar la capacidad resistente de la estructura a fuerzas laterales. La consideración obligatoria de este último efecto, desfavorable, fue incorporada por vez primera en la Norma COVENIN 1756 del año 1982.

Los dos aspectos anteriores, práctica usual en el diseño sismo-resistente moderno e ignorado en las normas que tuvieron vigencia hace más de 30 años, definitivamente influyeron en el desempeño de edificios ubicados en localidades distantes como Cumaná. Una muestra de ese tipo de eventos distantes se da en las **Notas 16 y 17**.

X.3.2.- Recomendaciones de Armado.

Del Artículo 13 de la Norma Provisional del MOP de 1967, titulado: *Prescripciones y Recomendaciones Generales*, interesa destacar aquí dos párrafos: (a) El párrafo número 1, en el cual se estableció que los muros de ladrillos macizos debían considerarse como integrantes de la estructura y: *“Si no se considera conveniente la colaboración de estos elementos, deberán dejarse separaciones entre ellos y la estructura, compatibles con las deformaciones de esta última”*; (b) el párrafo número 8, que estableció lo siguiente: *“En columnas y vigas se recomienda disminuir la separación de ligaduras y estribos, en las zonas adyacentes a los nodos, a la mitad de la calculada para el resto del elemento correspondiente. En las columnas, esta zona abarcará 1/5 de la altura de los pisos. En las vigas, esta zona será, por lo menos, igual a dos veces la altura de ellas.”*

Si bien, para ese momento esta segunda recomendación puede considerarse acertada, no se hizo mención a dos aspectos críticos propios de las ligaduras y estribos empleados hasta esa fecha, y destacados como agravantes en la vulnerabilidad de nuestras estructuras de concreto reforzado en múltiples informes de campo del terremoto de Caracas del año 1967; estos son: (i) la ausencia de ganchos a 135 grados tanto en ligaduras como en estribos; (ii) la ausencia de confinamiento en las uniones de miembros. Con base a las normas hoy vigentes (COVENIN 1753:2006), la eficiencia de las recomendaciones hechas en el párrafo número 8 recién citado, pudiera considerarse debatible de omitirse estos dos últimos aspectos recién señalados como (i) y (ii).

Para el diseño de secciones de concreto armado a mediados de la década de los años 70 aún no se habían aprobado las Normas COVENIN 1753 en sus diferentes versiones. La alternativa de emplear el código ACI 318, práctica común entre los proyectistas, no satisfacía extremos legales; esto así, pues el ACI, sin duda una institución que marcó el rumbo en el progreso de los criterios de diseño, en ningún momento tuvo el carácter de organismo normativo. La reconciliación entre los niveles de diseño de miembros de concreto armado que asegurasen el desempeño asociado a coeficientes sísmicos reducidos por ductilidad, solo se alcanzó con la versión del año

1985 de la Norma COVENIN 1753, la cual incluyó el conocido Capítulo 18 (COVENIN, 1985).

En cualquier caso y como se señala en la **Sección 3.3**, en los dos modelos seleccionados para la evaluación de la edificación desplomada, con base en las inspecciones de los elementos portantes se seleccionó una ductilidad igual a 2 (IMME, 1998, p. 117).

X.3.3.- Coeficiente Sísmico con Fines de Diseño

En la Norma Provisional de 1967 se incrementó a tres el número de zonas sísmicas. La zona sísmica 3 que incluyó Cumaná, era la de mayor peligrosidad; le seguía la zona sísmica 2 con coeficientes de diseño 50% menores y, finalmente, la zona sísmica 1 con coeficientes de diseño iguales al 25% de los de Cumaná (**Nota 18**).

Los coeficientes sísmicos de diseño exigidos por la Norma Provisional del MOP (1967) para Cumaná, en edificaciones a ser construidas sobre suelos aluvionales, era igual a 0.06. Tal como se indica en la **Sección X.3.1.2.3** la evaluación de estructuras que han alcanzado su estado límite de agotamiento, el coeficiente sísmico de referencia debe ser mayorado, conservadoramente, por 1.6; por tanto, como quedó dicho en la citada Sección, el valor exigido por la Norma MOP 1967, reconciliado a nivel cedente, resulta ser igual a 0.10.

X.3.4.- Evaluación de la Edificación Desplomada

A los efectos de verificar la bondad y/o debilidades del proyecto, en el citado Informe IMME (1998) se emplearon algoritmos modernos para la determinación de: (i) las propiedades dinámicas de la estructura, liberando tres grados de libertad por nivel; (ii) las solicitaciones en los miembros bajo: (a) el efecto de la gravedad; (b) la superposición del efecto de la gravedad \pm efecto del sismo en dirección (α°) \pm efecto del sismo en dirección ortogonal a la anterior ($\alpha^\circ + 90^\circ$); (iii) la capacidad portante de sus miembros tomando en consideración las observaciones y mediciones de campo; (iv) el coeficiente sísmico resistente. Este último permite la comparación con los valores prescritos en la Norma MOP (1967), vigente para la fecha del proyecto y construcción de la edificación, igual a 0.10 según se ha explicado en la **Sección X.3.2**.

Para tomar en consideración las incertidumbres propias de la información disponible sobre la edificación, en el citado Informe IMME se consideró conveniente evaluar los dos modelos que se describen en la **Tabla X.3**. Las propiedades dinámicas (autovalores y autovectores) de estos dos modelos difieren sustancialmente, según se desprende de las Tablas 7.2 y 7.3 (op. citada, p. 126). De este modo se exploraron las posibles debilidades que hubiesen podido conducir al desplome de la edificación.

En ambos modelos se seleccionó un factor de ductilidad admisible igual a 2, consistente con las observaciones hechas sobre los detalles de armado (op. cit., p. 117) y contrastado con los valores aceptados en las normas más modernas.

TABLA X.3
MODELOS ADOPTADOS PARA EVALUAR EL COEFICIENTE SÍSMICO
RESISTENTE DE LA EDIFICACIÓN (Fuente: IMME, 1998, p. 115)

Hipótesis Adoptadas, Criterios de Modelado, Propiedades de los Materiales	Modelo 1	Modelo 2
Paredes	Incorpora las paredes confinadas por los pórticos y las paredes no confinadas que	No fueron incorporadas en el modelo siguiendo la práctica común ingenieril

	generan efectos de columna corta (eje C)	
Rigidez de la Losa	Se incorporó su contribución a la rigidez de las vigas longitudinales	No se incluyó en la rigidez de las vigas longitudinales
Inercia de las Secciones	Se consideraron secciones agrietadas	Se adoptaron secciones no agrietadas
Resistencia del concreto	130 kgf/cm ² (Nota 19)	210 kgf/cm ²

X.3.5.- Movimiento del Terreno en el Sitio de la Edificación

Según se indica en la Conclusión 6 del Informe IMME, la acción sísmica a ser empleada en los análisis quedó definida por: "...el sismo probable de ocurrencia en el sitio..." (op. cit. p 121), con aceleraciones máximas iguales a: 0.16g en una dirección y 0.088g en la dirección ortogonal. Las sollicitaciones actuantes en los miembros de la edificación estudiada, bajo la acción simultánea de estas dos componentes, fueron calculadas para los dos modelos descritos en la **Tabla X.3**.

Finalmente y con el objetivo de identificar la dirección más desfavorable del posible ángulo de ataque (α) de la acción sísmica, los dos modelos descritos se evaluaron para los 5 (cinco) ángulos de ataque del sismo (α) que se indican en la **Tabla X.4**.

X.3.6.- Coeficiente Sísmico Resistente de la Edificación Derrumbada

La capacidad resistente para cada uno de los diez casos evaluados, quedó sintetizada por el coeficiente sísmico resistente cuantificado según el siguiente cociente:

$$\text{coeficiente sísmico resistente} = \text{cortante basal resistente} / \text{peso total de la estructura} \quad (X.1)$$

En la **Tabla X.4** se dan los diez valores obtenidos con: 2 (dos) modelos analizados y 5 (cinco) ángulos del ataque de parejas de acelerogramas actuando, simultáneamente, en direcciones ortogonales. Sus valores fueron leídos en la Figura 7.27 del Informe IMME (1998).

TABLA X.4
COEFICIENTES SÍSMICOS RESISTENTES PARA CINCO ÁNGULOS DE ATAQUE DE: SISMO X + SISMO Y (Fuente: IMME, 1998, Figura 7.27, p. 156)

Acción Sísmica Simultánea (X + Y)		Coeficientes Sísmicos Resistentes Calculados	
Dirección de Aplicación del Sismo $A_{\text{máx}} = 0.16g$	Dirección de Aplicación del Sismo $A_{\text{máx}} = 0.088g$	Modelo 1	Modelo 2
$\alpha = 0^\circ$ (Dirección X)	$\alpha + 90^\circ = 90^\circ$ (Dirección Y)	0.30	0.25
$\alpha = 22.5^\circ$	$\alpha + 90^\circ = 112.5^\circ$	0.25	0.18
$\alpha = 45.0^\circ$	$\alpha + 90^\circ = 135.0^\circ$	0.20	0.155
$\alpha = 67.5^\circ$	$\alpha + 90^\circ = 157.5^\circ$	0.16	0.125
$\alpha = 90^\circ$ (Dirección Y)	$\alpha + 90^\circ = 180^\circ$ (Dirección X)	0.16	0.11

X.3.7.- Cumplimiento de los Requerimientos Resistentes de la Norma

De acuerdo con lo establecido en la **Sección X.3.2**, el coeficiente sísmico de diseño exigido por la Norma Provisional del MOP (1967), vigente para la fecha del

proyecto de esta edificación, reconciliado en forma conservadora, alcanza el valor 0.10 según se explica en esa sección. De la **Tabla X.4** se desprende que los diez valores del coeficiente sísmico resistente calculados en el Informe IMME (1998), varían entre 0.11 y 0.30, con un valor medio igual a 0.189. O sea que de acuerdo con los resultados obtenidos, y si a todos los casos se les asigna el mismo peso tal como se infiere del Informe (IMME, 1998), en promedio la estructura resistió, en término medio, casi el doble de lo exigido por la Norma Provisional del MOP (1967).

El resultado anterior señala que la causa del derrumbe de esta edificación no fue el incumplimiento de la Norma vigente para la fecha del proyecto. Más bien, fue una subestimación de la peligrosidad sísmica, propia del documento normativo (**Nota 20**). En tal sentido, se reproduce aquí lo señalado en la Introducción de ese documento ya destacado en la **Sección X.3.1.1**: “...es conveniente repetir que el cálculo antisísmico en la forma aquí recomendada, o en la de otras normas extranjeras, no constituye ni puede constituir garantía absoluta contra los graves daños de los terremotos, que envuelven factores muy diversos y cuyos efectos solo se logran conocer por el análisis de las observaciones obtenidas con la repetición de tan peligrosos elementos destructivos de la naturaleza”.

De los análisis hechos sobre las condiciones locales en el sitio donde se encontraba construido el edificio derrumbado en Cumaná, así como las características de este, se concluye que en este caso se presentaron causas desfavorables concomitantes: (a) configuración irregular de la edificación; (b) efectos propios del subsuelo de fundación; (c) posibles limitaciones en la calidad del concreto y el armado en los elementos portantes. Sobre los efectos desfavorables de las tres causas anotadas, cuya cabal comprensión es relativamente reciente, hay múltiples evidencias constatadas en diferentes sismos que han afectado zonas urbanizadas del planeta y que ha costado la vida a varias centenas de miles de personas. Tales evidencias han conducido a progresivas modificaciones en las Normativas de la mayoría de los países que actualizan regularmente estos documentos, entre los cuales se encuentra Venezuela desde inicios de los años 80 (**Nota 21**).

X.3.8.- Epílogo

La naturaleza forense de este caso llevó a la mesa del Juez los resultados de una muy cuidadosa y detenida investigación sobre el desempeño catastrófico de una edificación derrumbada por el sismo de julio de 1997 (Informe IMME, 1998). Es poco probable que el Juez estuviese en capacidad de asimilar el contenido técnico de ese Informe altamente especializado y, en lugar de hacer uso de su prerrogativa de solicitar una comisión de expertos para asesorarse, como ha sido el caso en otros juicios y sustentar su decisión en una experticia, dado que la materia no es de conocimiento fácil, directamente emitió un juicio condenatorio: el arquitecto fue acusado de “*Homicidio Intencional*” (**Nota 22**).

X.4.- LECCIONES DE LA CASUÍSTICA PRESENTADA

La casuística aquí recogida constituye una ilustración de lecciones propias de la naturaleza patológica de algunos eventos sucedidos en el país; sus causas y posible origen han sido sustento de recomendaciones incorporadas a las Normativas vigentes, así como de decisiones que han orientado acciones de mitigación y prevención. Destaca entre ellas el reforzamiento de los diques de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM) que comenzaron a levantarse hacia el año 1930. Esto, para contrarrestar inundaciones debidas a fenómenos de subsidencia local en zonas pobladas o áreas donde se desarrolló la industria petrolera (Contreras, 2006).

Las citadas lecciones tienen varias vertientes. Estas se pueden agrupar en dos: (i) errores en la evaluación de las acciones externas, errores en el modelado, análisis o diseño, incluido el empleo de Normativas obsoletas, todos ellos factores que pueden afectar el dimensionamiento de elementos portantes; (ii) errores u omisiones durante la ejecución de algunas obras, así como efectos imprevistos de naturaleza accidental y falta de mantenimiento. Sin que puedan diferenciarse por una frontera muy nítida: el primer grupo está más relacionado a problemas del Proyecto y el segundo a la Ejecución.

Agradecimiento: Los autores desean expresar su agradecimiento muy especial al profesor Eduardo Buroz, miembro de nuestras Academias de Ciencias y de Ingeniería, por sus acertadas sugerencias, complementos de información y señalamiento de casos que han enriquecido esta comunicación. Igualmente al profesor Luis Daniel Beauperthuy de la Universidad de Oriente, por sus comentarios sobre particularidades de los sismos el oriente Venezolano, así como al doctor Eudaldo Vila P. por los documentos testimoniales que generosamente nos ha facilitado.

NOTAS

Nota 1.- Aparentemente la ejecución de este puente fue responsabilidad del ingeniero Luis Ramozzi. Su longitud fue de 112.8 m, entre torres de 9 m de altura. Su proyecto también ha sido atribuido al ingeniero francés Gustave Eiffel (1832-1923).

Nota 2.- De acuerdo con Zawisza (1988, III, pp. 278 y 279), este puente fue proyectado por el Ingeniero Jesús Muñoz Tébar y permaneció en construcción durante un cierto tiempo a partir de 1874. Ofrecía un buen acceso a la residencia del padre del presidente Guzmán Blanco, Antonio Leocadio Guzmán, cuya casa se encontraba en ese punto, justamente en la ribera norte de la quebrada Catuche.

Nota 3.- Al inicio, la dirección de esa obra estuvo a cargo del ingeniero Antonio Malaussena; luego pasó a ser responsabilidad de Juan Hurtado Manrique y, finalmente, del ingeniero Roberto García.

Nota 4.- En 1905 el ingeniero Alfredo Jahn habría reparado ese puente. De acuerdo con Silva (2010, p. 268), la reconstrucción del puente El Guanabano entre 1931 y 1932 estuvo a cargo del ingeniero Hernán Ayala Duarte.

Nota 5.- El doctor Aníbal Martínez recogió valiosa correspondencia que se inicia con la advertencia original hecha por el geólogo Hugo Ancieta Calderón en noviembre de 1970, formalizada en un Informe de la Sociedad Venezolana de Geólogos al CIV. Advertencias posteriores al CIV y a organismos del Estado, sobre los efectos del arrastramiento de los Cerros de Gramoven y las alteraciones de las rocas en su estado natural como consecuencia del denominado ‘pademorfismo’ -proceso artificial depredatorio provocado por el hombre-, son descritas en más detalle (Martínez, 2009).

Nota 6.- Silva (2010, p. 111) reproduce el dibujo: “Aprobado por resolución del 17 de marzo de 1904”, suscrita por el Ministro R. Castillo Chapellín, del ‘puente Castro’ sobre el río Tuy, en Paparo, con estructura metálica de dos tramos de 40 y 50 m, con armaduras superiores distintas, cuyo proyecto y dirección técnica fue responsabilidad del ingeniero Alfredo Jahn entre 1904 y 1905 (Silva, 2010, p. 273).

Nota 7.- Trabajos de campo hechos a finales de los años 70 conjuntamente con el profesor Celso Tulio Ugas F. permitieron identificar otras localidades de Barlovento en las cuales hubo indubitables efectos de licuefacción del terreno.

Nota 8.- Situaciones accidentales como la anterior fueron argumentos para exigir pruebas de carga en obras donde podía haber concentraciones de público. Por ejemplo, cuando se inauguró el Hipódromo de La Rinconada en Caracas, se realizó una prueba de carga sobre las graderías para simular el efecto de una abigarrada multitud saltando en los minutos finales de una carrera de caballos. La sobrecarga estática equivalente se logró con bidones de agua interconectados por su parte inferior, equivalente a unos 500 kgf/m². Estas pruebas han caído en desuso gracias a la confiabilidad de los algoritmos de análisis. De acuerdo con la norma MOP de 1955: “Es obligatorio indicar en lugar visible del edificio las cargas vivas usadas para el cálculo de los entresijos cuando excedan 200 kgf/m²”. Con todo, en la Sección 3.17 “Pruebas de Carga”, de la Norma COVENIN 2002:1988, vigente, se indica que en ciertos casos la Autoridad Competente podrá exigir este tipo de pruebas para verificar la seguridad de la estructura. Igual opción y con mayor nivel de detalle, se ofrece en las Secciones 17.5 a 17.8 de la Norma COVENIN 1753:2006 vigente.

Nota 9.- Este fue uno de los primeros casos de corrosión estudiados en el país. Las medidas de remediación fueron diseñadas por los profesores Ramón Espinal y Mario Paparoni, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UCV (Paparoni, 1963); tales medidas requirieron inspecciones e

intervenciones de la estructura durante aproximadamente 7 años continuos. Probablemente por lo inesperado de las causas de deterioro de la estructura, no se tiene conocimiento de reclamación alguna a los constructores. Hoy en día, en las normas COVENIN 1753 vigentes, se establecen límites en los contenidos de cloruros, especificaciones en los diseños de mezcla, contenidos de cemento y recubrimientos, para minimizar riesgos similares, que protegen al propietario de la obra.

Nota 10.- Las principales mediciones y ensayos fueron los siguientes: auscultación ultrasónica en elementos sanos, así como en los elementos afectados por el fuego; extracción y ensayo de core-drills, y muestras de acero; nivelación de precisión del nivel 13 (techo del piso 5); diagnóstico y procedimientos de reparación.

Nota 11.- Sobre el tema de evaluación y reparación de estructuras de concreto armado dañadas por incendios véase a Beapertuy y Scannone (2009). Aparte de la evidente conclusión de que las estructuras de concreto armado son menos vulnerables al fuego que las estructuras metálicas, entre las lecciones aprendidas en este costoso caso se señala que, una concepción que ofrezca una reserva adecuada a las acciones sísmicas, también ofrece una reserva adecuada a fallas parciales. Se ha afirmado que un buen diseño sismo-resistente, tiende a reducir las probabilidades de falla debidas a otras acciones accidentales.

Nota 12.- El problema de la pérdida de capacidad de almacenamiento de los embalses ha sido estudiado recientemente por el profesor José Gaspar. Este especialista llegó a las siguientes conclusiones: con la escasa información disponible (mediciones en 17 de los 81 embalses en operación) se ha estimado que a la fecha se ha perdido un 39% de la capacidad de almacenamiento de nuestros embalses (Gaspar, 2009). Las causas señaladas por el citado autor son las siguientes: (a) los métodos empleados para el cálculo de los volúmenes de sedimentación no siempre han sido los adecuados; (b) la intervención humana con posterioridad a la construcción del embalse, modifica la estabilidad de la cuenca y, por tanto, las condiciones naturales supuestas en los cálculos; (c) no se dispone de datos confiables sobre la producción de sedimentos, aunado a que en algunos casos se ignoró el problema en el diseño del embalse, sin disponer descargas de fondo. Además, de los 17 embalses estudiados 15 tienen menos de 40 años y 12 tiene 35 o menos años. El problema aquí planteado requiere la mayor atención por parte del Estado pues lo usual es asignar una vida útil de 100 años a los embalses y algunos se han colmatado en pocos años.

Nota 13.- El sótano de esa edificación no sufrió daños visibles. Luego de la remoción de los pisos desplomados, los automóviles salieron del sótano sin señales de daños. Esta fue la razón para estudiar muestras de concreto extraídas de ese nivel el año 2002. Además de núcleos para ser ensayados a la compresión, en el informe se dan resultados de ensayos no destructivos (G.M.K., 2002).

Nota 14.- Ese carácter provisional se extendió por 15 años. Durante ese período se publicaron algunas contribuciones que fueron empleadas para sustentar las omisiones más importantes que dejó la Norma provisional. Entre las publicadas en Venezuela: Esteva M., L. (1967); Magual R., et al (1969); Abenante, F. (1969); Delgado Ch., J.A. y Peña, J.A. (1972); Arias A., G. (1973); Arnal M., E. (1973); HELIACERO – SIMALLA (1973B); Ugas, C. T. (1974); Marín, J. (1975); Alonso, J.L. (1977); Beyer, E. (1978); Mindur (1979); Fiedler, G. (1980). Adicionalmente, en 1973 se inició en la Facultad de Ingeniería de la UCV el Curso Multinacional de Ingeniería Sismo-resistente a nivel de Maestría, con el apoyo de la Organización de Estados Americanos (OEA).

Nota 15.- Otros aportes publicados en Venezuela que contribuyeron a resolver los análisis dinámicos y el diseño sismo-resistente de las estructuras fueron: CCCA (1967a); Marín, J. et al. (1968); Abenante, F. y Grases, J. (1969); Uzcátegui, R. (1969); Newmark, N. N. (1970); Roy, H. (1970); Sozen, M. (1970); Marín, J. (1970a); Uzcátegui, R. y Urquizu, M. (1970); Peña, J. A. et al.(1973); Marín, J. (1974a); Luchsinger, C. (1974/76); Arias A., G., Peña, J.A. y Zalewski, W. (1977); Paparoni M., M. (1978); Lamar, S. (1978); Uzcátegui, R. (1978); Lobo Quintero, W. (1979); Arnal, H. (1979).

Nota 16.- De los muchos casos que ilustran el efecto de sismos distantes en la **Tabla N1** que sigue se retienen algunos de los más conocidos.

Tabla N1
SÍNTESIS DE LOS EFECTOS DE EVENTOS SÍSMICOS DISTANTES
UNA MUESTRA DE EVENTOS ENTRE 1957 y 1997

FECHA	DESIGNACIÓN DEL SISMO	M_s (m_b)	ÁREA O LOCALIDAD AFECTADA Y EFECTOS		
			Nombre de la Localidad (Subsuelo)	Distancia Epicentral (km)	Tipo de afectación y/o registros acelerográficos
1957-07-28	Costa del Pacífico, México	7.5	Chilpancingo (30.5 m de aluvión)	80	Mercalli grado VIII dentro de la isosista de grado VI
			Ciudad de México (aluvión del antiguo)	270	Concentración de daños en edificios altos, en un

			lago Texcoco) (Nota 15)		área limitada de una ciudad de 15 millones de habitantes
1962-05-11	Ciudad de México	(6.7)	Ciudad de México (aluvión del antiguo lago Texcoco)	265	Espectro (5%) del registro , arroja amplificación espectral de 3.5 y $T_{predominante} = 2.5$ seg
1967-07-29	Caracas, Venezuela	6.5	Güügüe, sur del lago de Valencia, estado Carabobo	-100	Licuefacción de suelos (Gonzalez y Picard, 1969)
1970-03-28	Gediz, Turquía	7	Bursa (120 m de aluvión en antiguo lago)	135	Ruina parcial de planta industrial (Tofas) de un nivel; daños en 2 galpones
1977-03-04	Vrancea, Rumania	7.2	Bucarest (antiguo lecho del Danubio)	145	1300 víctimas por desplome de 30 edificios de 6 a 12 niveles. Registro con un pulso senoidal
1985-09-19	Michoacán, costa Pacifico, México	8.1	Ciudad de México (aluvión del antiguo lago Texcoco)	380	300 edificios altos desplomados y mil inseguros (más de 5 mil víctimas). Según registros, amplificación cercana a 10 en área de aluviones
1989-10-17	Loma Prieta, California, USA	7.1	Distrito de La Marina, San Francisco (rellenos de 1906, cercanos a la costa)	110	Daños y ruina de viviendas de madera; incendios por fuga de gas. Registros revelan amplificaciones considerables
1990-03-25	Cobano, Costa Rica	6.8	Estaciones de registro en San José (depósitos aluvionales con 10 m de arcilla)	101	Registros señalan amplificación (tope aluvión)/(roca), hasta de 100% (suelo saturado) y 20% (suelo seco)
1997-07-09	Cariaco, Venezuela	6.9	Cumaná (aluviones de origen fluvio-marinos muy recientes, con espesor mayor a 45 m)	~ 75	Desplome de un edificio de 7 niveles (33 víctimas). Amplificación de 30% en el tope del aluvión, respecto a las aceleraciones máximas registradas en roca (obtenida analíticamente, Informe IMME 1998)

Nota 17.- Los efectos de este sismo fueron dados a conocer por Rosenblueth et al. (1958), los cuales ya habían sido presentados meses antes, en el Simposio promovido por la Organización Nacional de Estudiantes de México el 27 de agosto de 1957. El artículo publicado en la *Revista Ingeniería* de México, se reprodujo en la *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 286, enero-marzo 1960, en tres partes: la primera con el mismo título de la referencia firmado por Emilio Rosenblueth, p. 43-51; la segunda titulada: *Efectos del macrosismo registrado el 28 de julio en las construcciones de la ciudad* firmado por Raul J. Marsal, p. 51- 65; la tercera titulada: *Criterios generales para el diseño sísmico de estructuras* suscrito por Fernando Hiriart, p. 65-70.

Nota 18.- El estado Sucre, particularmente el área de Cumaná, se ha considerado área de máxima peligrosidad sísmica desde antes del siglo XIX. En tiempos más recientes ha habido cambios sustanciales en la cuantificación de esa peligrosidad con fines de prevención en los proyectos de ingeniería. Los documentos normativos que se emplearon hasta 1967 diferenciaban dos zonas sísmicas: se establecían allí coeficientes sísmicos de diseño que, para Cumaná, eran el doble de los exigidos para el resto de las regiones consideradas como sísmicas del país. Los mapas de zonificación de las Normas COVENIN 1756, años 1982 y 2001 se asociaron a movimientos máximos del terreno, con un sustento probabilista. Para edificaciones que no fuesen de carácter excepcional, en esos documentos se establecieron acciones de diseño que, en término medio, tenían una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años de vida útil. En la versión del año 1982, para Cumaná se exigía 0.30g como aceleración de diseño; este valor fue incrementado a 0.40g en la versión del año 2001, vigente hasta la fecha.

Nota 19.- El valor de 130 kgf/cm² es el promedio obtenido del ensayo a compresión de 8 (ocho) núcleos extraídos de 4 (cuatro) miembros (2 vigas y 2 columnas) del edificio desplomado, trasladados de Cumaná a Caracas (op. cit. Sección 6.2); se consideraron representativos del concreto por encima del nivel del sótano (op. cit. p. 113). Este valor es diferente al obtenido de 10 (diez) núcleos de 9 cm de diámetro extraídos del concreto en el sótano cuyos miembros de concreto no sufrieron daños visibles; el promedio de la resistencia a la compresión, ya corregida por la relación (alto/diámetro) de los núcleos, fue de 257 kgf/cm² (G.M.K., 2002). Por sus implicaciones, es preciso señalar aquí que los cambios de resistencia que se anticipan para concretos elaborados con cemento Portland de cualquier tipo, en esos tres a cuatro años adicionales, para concretos que tuviesen más de unos 15 años de vaciados como es el caso, son despreciables (véase: Porrero et al., 2004, Capítulos IV y XI). No se llevaron a cabo ensayos químicos, basados en espectrografía, que permitiesen reconstruir la dosificación de concretos y, en especial, conocer: (i) los contenidos de cemento y; (ii) las relaciones a/C empleadas. Tal vez estos ensayos hubiesen podido arrojar luces sobre eventuales diferencias entre la dosificación de los concretos del sótano y los de la estructura derrumbada.

Nota 20.- Las condiciones del subsuelo existente bajo las fundaciones del edificio derrumbado y la particular configuración estructural de la edificación, por su mayor vulnerabilidad a los sismos fueron agravantes; ambos son considerados como desfavorables en las modernas Normas COVENIN 1756 vigentes desde 2001. De igual modo, la configuración estructural descrita más arriba, es penalizada en las normas modernas. Tales condiciones de subsuelo y configuración de las estructuras, así como otras muchas lecciones dejadas por sismos sucedidos a nivel mundial en las últimas décadas, son objeto de penalizaciones en las normas más modernas.

Nota 21.- Con base en las evidencias publicadas sobre sismos sucedidos entre 1957 y 1997, las características del sitio en el cual fue construido el edificio derrumbado dieron lugar a efectos de amplificación de las acciones sísmicas. De acuerdo con los resultados de análisis presentados en el citado Informe (IMME, 1998) tales acciones excedieron los requerimientos de la Norma vigente para la fecha del Proyecto, lo cual es concordante con conclusiones presentadas en la **Sección 3.6**. Al comparar los coeficientes sísmicos de diseño que se exigían para Cumaná en: (i) la Norma MOP provisional del año 1967 vigente para la fecha del Proyecto del edificio derrumbado, y; (ii) con los exigidos en la Norma vigente el año 2001 para una edificación con la misma configuración, en la misma localidad, con las mismas condiciones del subsuelo y el mismo nivel de diseño, las exigencias de la Norma MOP provisional del año 1967 arrojaron probabilidades de excedencia del movimiento del terreno entre 3 y 5 veces mayores que la vigente en 2011; esto se tradujo en probabilidades de ruina de 40 a 70 veces mayores. Según se indicó en el párrafo anterior, en las Normas sísmicas venezolanas de 1982 y 2001, al igual que en buena parte de las normas para el diseño sismo-resistente a nivel mundial, se aceptó como riesgo tolerable una probabilidad de excedencia de 10 % para una vida útil de la edificación de 50 años. Estudios de confiabilidad han mostrado que el cumplimiento de la norma COVENIN 1756:2001 vigente, está asociado a un riesgo de ruina, evaluado por diferentes procedimientos, del orden de 1 por cada mil edificios que cumplan con las prescripciones normativas (Barreiro, 2006).

Nota 22.- El arquitecto estaba en posesión de la Memoria de Cálculo, de los planos estructurales y de otros recaudos que llevó personalmente a la sede del Juzgado a solicitud de su titular. Cometió un error al firmar los planos en el lugar donde debía firmar el ingeniero proyectista, dado que este no era colegiado del CIV; esa falta tiene una sanción propia del Código sobre el Ejercicio Profesional. Sin embargo y como se explica en el texto, la causa de la ruina de la edificación no fue ese error como quedó claramente demostrado en el Informe IMME (1998) ya citado; el sismo excedió las exigencias de la norma, al igual que sucedió en Caracas el año 1967. Eventualmente, en este caso podría alegarse como error haber extendido la vigencia de aplicación de un documento de naturaleza provisional durante 15 años, con consecuencias que aún están por verse.

REFERENCIAS CITADAS

- ABENANTE, F. (1969). Dimensionamiento preliminar de pórticos sometidos a cargas horizontales. *Boletín AVIE*, N° 7:13-21, Caracas. /Con el mismo título, véase también: *Revista del CIV*, N° 294, 39-47, octubre 1972, Caracas./
- ABENANTE, F. y GRASES, J. (1969). *Contribución al análisis sísmico de estructuras*. Oficina de Investigación de Viviendas de Interés Social del BANAP, CCCA y AVIE. Impresos ACEA Hnos. Caracas, 87 p.
- ACOSTA, L. y DE SANTIS, F. (1997). Mapa inventario de licuación de suelos en Venezuela. *FUNVISIS, III Conf. Latino. de Ing. Geotéc. Jóvenes*. Caracas.
- ALLEGRET, J.R. (1997). Caminos y Carreteras. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. I, pp. 602-604.

- ALONSO, J.L. (1977). *Espectros sísmicos, coeficientes de corte basal de diseño y recomendaciones finales. Microzonificación sísmica de Mérida*. Ministerio del Desarrollo Urbano, Oficina Técnica especial del Sismo, septiembre. Caracas.
- ALTEZ, R. (2005). El desastre de 1812 en Venezuela: sismos, vulnerabilidad y una patria no tan boba. Trabajo de Grado de Maestría, UCAB, 433 p. Caracas.
- AMUNDARAY, J.I. (2006). Suelos potencialmente licuables y medidas de remediación. Cap. VIII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I. ISBN: 978-12-2289-1, Caracas.
- API 1111 (2009). *Design Construction, Operation and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design)*. American Petroleum Institute, Washington, 67p + adenda.
- ARCILA FARIAS, E. (1961) *Historia de la Ingeniería en Venezuela*. Colegio de Ingenieros de Venezuela, Edit. Arte, 2Vol. Caracas.
- ARIAS A., G (1970). *Aplicación del Método de Rigideces Sucesivas al Cálculo de Edificios con Cargas Horizontales Incluyendo el Efecto de la Torsión en Planta*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. 129 p.
- ARIAS A., G. (1973). *Distribución de Cargas Sísmicas en Edificios. Interacción Pórticos-Muros de Corte*. Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural. Caracas, 160 p.
- ARIAS A., G., PEÑA, J.A. y ZALEWSKI, W. (1977). *Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. Ministerio del Desarrollo Urbano. Dirección General de Equipamiento Urbano. Caracas.
- ARNAL M., E. (1973). *Manual para el Cálculo de Elementos de Concreto Armado*. Editado por el Grupo Heliacero-Simalla. Caracas.
- ARNAL, H. (1979). *Planeamiento estructural de edificios altos*. Apuntes (1973/76). Folleto de Estructuras N° 9, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, 164 p.
- BARREIRO, M. (2006). Cambios en las Normas Sísmicas y confiabilidad estructural. En: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, p. 123-143. Ed. J. Grases, ISBN 980-12-2002-3, Imp. Minipres. Caracas, 389 p.
- BEAUPERTHUY, J.L. y SCANNONE, R. (2009). Evaluación y Reparación de Estructuras de Concreto Armado dañadas por Incendios. Capítulo XIX de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- BEAUPERTHUY, L.D. (2010). Comunicación personal, del día 24 de septiembre.
- BEYER, E. (1978). *Estructuras de Acero*. Folleto de Estructuras N° 12, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas.
- BORGES, F., GRASES, J. and RAVARA, A. (1969). Behaviour of tall buildings during the Caracas earthquake of 1967. *Proc. of the IVth World Conf. on Earthq. Eng.*, Santiago de Chile, vol 3, p J-2, 107-123, Santiago.
- BRUN, J.A. (1894). Relación circunstanciada de la situación de los edificios, línea, puentes y material rodante. Ferrocarril de Santa Bárbara - El Vigía después del temblor del 28 de abril de 1894. MOP, Documentos N° 332, Caracas.
- BUROZ, E. (2010). Comunicación personal, diciembre, Caracas.
- BUROZ, E. and GUEVARA J. (1979). Flood control in the Orinoco Delta and its effects on the Environment. The Caño Manamo Project. In: *Water Management and Environment in Latin America*, p. 199-220. United Nations-Economic Commission for Latin America, Pergamon Press Ltd, 327 p.
- BUROZ, E., GUEVARA J. y SILVESTRE H. (1976). *Aprovechamiento de regiones deltaicas; sus efectos sobre el Ambiente. Un caso en el Delta del Orinoco*. ONU-CEPAL.
- C.G.R. (2000). Estudio hidrológico de la cuenca del río Guapo hasta el sitio de presa, estado Miranda. Informe al MARN. Caracas
- CAMARGO M., R. (2006). Reforzamiento del Viaducto N°1 autopista Caracas-La Guaira. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. 1, cap. XIV, p 251-272, CONSULIBRIS, ISBN 980-12-2289-1, Caracas.
- CANTV (2007). *Proyecto Estructural de Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*. Norma CANTV, Caracas. /Nuevo mapa de velocidades básicas de viento en Venezuela/.
- CAPOBIANCO, J. (2009). Viaducto La Cabrera, autopista Regional del Centro. Capítulo XIII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- CARO, R. (2009). Relaciones Históricas. *Boletín N° 18, Academia Nacional de La Ingeniería y El Hábitat*, ISSN: 1317-6781. Caracas, PP 141-156.
- CENTENO GRAÜ, M. (1900). El terremoto de 1900. *La Linterna Mágica*, 15 de noviembre, p 1-2, Caracas.
- CENTENO GRAÜ, M. (1940). *Estudios Sismológicos*. Caracas, primera edición. Segunda edición, 1969.

- COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA (CIV) (1967). Informe que sobre el sismo presentó la Comisión designada por el CIV. *Bol. de la Soc. Venez. de Mec. del Suelo e Ing. de Fund.*, N° 25-26:38-64, Caracas. /Reproducido en el Bol. del CIV, N° 93, Nov. Dic., 1967, Caracas, s.f. /.
- COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA (CIV) (1983). *Plan Frente a Contingencias*. Caracas.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES, COVENIN (1985). *Prescripciones especiales para el diseño de elementos estructurales de edificaciones antisísmicas*. Capítulo 18 de la Norma COVENIN-MINDUR 1753-85. Caracas. /Documento a cargo de una Subcomisión coordinada por el Ing. César Hernández Acosta/.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2001). *Edificaciones Sismorresistentes: Norma COVENIN 1756, Fondonorma*. Caracas, Articulado 71p + Comentario 123p + referencias + índice analítico.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2006). *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto estructural*. COVENIN 1753, Fondonorma, Caracas, Articulado + Comentarios.
- COMITÉ CONJUNTO DEL CONCRETO ARMADO (CCCA) (1967a). *Normas para el cálculo de estructuras de concreto armado - teoría clásica 1967*. MOP, Caracas, 166p + comentarios + anexos. /Publicado por la Comisión de Normas del MOP: "... sin carácter preceptivo obligatorio"/.
- CONSORCIO PUENTE MARACAIBO (1963). *El Puente sobre el Lago de Maracaibo en Venezuela. Puente General Rafael Urdaneta*. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin. 122 p.
- CONTRERAS, M. (2006). Diques de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM). Cap. IX de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I. ISBN: 978-12-2289-1, Caracas.
- CVG-EDELCA (2007). *Informe especial de inspección y evaluación de los efectos del sismo de Martinica del 29 de noviembre de 2007*. Dep. de Inst. y Eva. de Estructuras, Puerto Ordaz.
- DE SANTIS, F. y AUDEMARD, F. (1989). Manifestaciones de "lateral spread" en el delta lacustre de Güügüe costa sur del lago de Valencia, durante el terremoto de Caracas del 29-07-1967. *Memorias del III Congreso Venezolano de Geología*. Barquisimeto, pp1123-1136.
- DE SOLA, O. (1964). Informe sobre algunas muestras de concreto armado provenientes de edificaciones en Maracaibo y de las arenas de Santa Cruz de Mora. *Boletín Técnico IMME*, II, N° 6, 15-40, Caracas.
- DELGADO CH., J.A. y PEÑA , J.A. (1972). *Análisis de Estructuras de Concreto Armado bajo la acción de las Fuerzas Sísmicas (análisis estático)*. Cuaderno N° 4, Capítulo 4, BANAP, Octubre, Caracas, s.p.
- DOREL, J. (1981). Seismicity and gap in the Lesser Antilles arc and earthquake hazard in Guadeloupe. *Geophysical J. R. Astor. Soc.*, 67:679-695. /Se estudia el sismo de 1953 fuertemente sentido en Ciudad Bolívar/.
- EDELCA (1991). *Especificaciones técnicas para sub-estaciones en zonas sísmicas*. Especificaciones ETGS/PAS-001, Caracas. /Actualizadas en 1998/.
- EL TERREMOTO DE 1900 (1965). *Boletín Archivo Hist. de Miraflores*, VI: #34, pp. 149-186.
- ERNST, A. (1878a). Earthquake in Venezuela (Cúa). *Nature*, XXVIII, p 130, London. /Véase también su artículo en *La Opinión Nacional*, N° 2689 del 2 de mayo de 1878: La causa probable del terremoto de Cúa./.
- ESTEVA M., L. (1967). Criterios para la construcción de espectros para diseño sísmico. *Boletín Técnico IMME*, N°19, 41-73.
- FERRER, D. y MARÍN, S. (2006). Evaluación del estado de mantenimiento de las represas venezolanas. In: Capítulo XVI de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. I, pp. 289-308. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- FIEDLER, G. (1961). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. *Memorias III Con. Geol. Venez.*, Tomo IV, 1791-1810, Caracas.
- FIEDLER, G. (1968). Estudio sismológico de la región de Caracas con relación al terremoto del 29 de Julio de 1967. Reporte y evaluaciones. *Boletín Técnico IMME*, vol. VI, N° 23-24, 127-221, Caracas.
- FIEDLER, G. (1980). *Una contribución al estudio de la micro-regionalización sísmica de la Región de Caracas*. Instituto Sismológico, Observatorio Cajigal, Caracas, 45 p /Informe final del Proyecto S-1-0299, CONICIT/.
- FIEDLER, G. (1988). Preliminary evaluation of the large Caracas earthquake of October 29, 1900, by means of historical seismograms. In: *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*, edited by W.H.K. Lee et al., Academic Press, p 201-206.
- FRANCESCHI, L. y SANABRIA, J.I. (2006). Fallas de puentes por incapacidad o socavación. En: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. 1, cap. IV, p 75-87, CONSULIBRIS, ISBN 980-12-2289-1, Imp. Minipres. Caracas, 389 p.
- FRANQUIZ JIMENEZ J. (1901). M. *Un pueblo en ruinas. Episodios del terremoto en Guatire*.

- FREYSSINET, E. (1953). Largest concrete spans of the Americas. Three monumental bridges built in Venezuela. *Civil Engineering*, March, 41-44.
- FUNVISIS (1997). Evaluación preliminar del sismo de Cariaco del 9 de julio de 1997, estado Sucre, Venezuela. J.A. Rodríguez, edit. Caracas, edición mimeografiada, revisada.
- FUNVISIS (2009). Boletín Sismológico, página web de FUNVISIS.
- G.M.K. (2002). Evaluación de la calidad del concreto de los muros norte y sur del sótano del edificio Miramar, Cumaná. G.M.K. QA & QC, 15p.
- GASPAR, J. (2009). Sedimentación de embalses en Venezuela. En: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Capítulo VIII, pp 121-147. Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- GENATIOS, C. (2010). Vargas: desastre, proyecto y realidad. Trabajo presentado ante la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Caracas, 169 p.
- GOMEZ R., A.F. (1983). *El huracán de 1933*. Fundación Neoespartana de Cultura. Colección 'Madre Perla'. Tipografía Rodara, Santa Ana del Norte, 200 p.
- GONZÁLEZ, M. y CÓRDOVA, J.R. (2000). Consideraciones sobre la probabilidad de ocurrencia de lluvias máximas en la zona litoral del norte de Venezuela. *Simp. Int. sobre los Aludes Torren. de diciembre de 1999 en Venezuela*. JIFI-2000, UCV, Fac. Ing., Caracas.
- GONZÁLEZ, S.L. y PICARD, X. (1969). El deslizamiento del NE de Güigüe como consecuencia del terremoto de 29-07-67. *Circular de la Soc. Venez. de Geól.*, N° 41:4-10, Caracas.
- GRASES, J. (1994) *Terremotos destructores del Caribe*. UNESCO-ORCYT, Imp. A. Barreiro, ISBN 92-9089-044-4, Montevideo, 132 p.
- 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.
- GUTENBERG, B. and RICHTER, C. (1949). *Seismicity of the earth and associated phenomena*. Princenton University and Oxford University Press, London, 310 p.
- GUTIÉRREZ, A. (1997). Diseño y detallado de miembros y conexiones en edificaciones. Tema 10, en: *Diseño Sismo-resistente. Especificaciones y Criterios empleados en Venezuela*. Acad. de Cien. Fís., Matem. y Nat. Editorial Binev, pp. 271-279, Caracas.
- GUTIÉRREZ, A. (2006). Tormentas tropicales y vientos huracanados en Venezuela. In: Capítulo 1 de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, pp. 15-30. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- HARWICH, V., N. (1997). Ferrocarriles. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. II, pp. 345-349, Caracas.
- HELACERO – SIMALLA (1973b). *Manual para el Cálculo de Elementos de Concreto Armado*. Comisión Técnica Asesora de SIDETUR, Caracas, 101 p.
- 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.
- HERNÁNDEZ RON, S. (1975). *Biografía del Dr. Manuel Cipriano Pérez*. Pub. Bibl. Acad. de Cienc. Fís., Mat. y Nat., vol XIII. Caracas, p. 152.
- IMME (1998). *Evaluación sismorresistente de las edificaciones derrumbadas durante el sismo del Cariaco del 09-07-1997*. Informe N° 209209, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Fac. de Ing. UCV, 20 agosto. Caracas, 251 p.
- KAUSEL, E (1986). Los terremotos de agosto de 1868 y mayo de 1877 que afectaron el sur del Perú y el norte de Chile. *Academia Chilena de Ciencias*, vol. 3, N°1, Santiago. /El primero de ellos generó un 'seiche' en el Lago de Maracaibo/.
- LAMAR, S. (1978). Análisis estático de estructuras de edificios de muros de pared delgada bajo fuerzas horizontales. *Boletín Técnico IMME*, 61-62:3-43, Caracas.
- LOBO QUINTERO, W. (1979). Código Antisísmico de Mérida. Una Proposición. *Mem. Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica*, p. 420-449. IMME-UCV, Organización de Estados Americanos (OEA). Enero, Caracas. /Publicado en el *Boletín Técnico IMME*, N° 64, 57-83, Caracas, 1979/.
- LOBO QUINTERO, W. (1986). *Norma venezolana para el diseño sismo-resistente de puentes*. Propuesta para la Dirección de Estudios y Proyectos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, articulado y comentarios. Julio, Mérida, 438 p. /Los diez primeros capítulos de esta propuesta se reprodujeron como Anexo E en: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (1997)/.
- LOBO QUINTERO, W. (2009). Rehabilitación y reforzamiento estructural del Puente Tazón II. Autopista Regional del Centro. Capítulo XII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.

- LÓPEZ J.L. (2006). Los deslaves de Vargas de 1999 y sus medidas de prevención. In: Capítulo II de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, pp. 31-56. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- LÓPEZ S., J.L. (2010). *Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. Aportes Científico-tecnológicos y Experiencias Nacionales en el Campo de la Prevención y Mitigación de Riesgos*. Ediciones Empresas Polar y Vicerrectorado Académico de la UCV, ISBN 978-980-12-4490-5. Caracas, 808 pp.
- LÓPEZ S., J.L. y GARCÍA M., R. (2006). *Los aludes torrenciales de diciembre 1999 en Venezuela*. Memorias del Seminario Internacional, celebrado en Caracas del 27-11 al 2-12 de 2000. ISBN 980-07-7715-6, editorial Gráficas Lauki. Caracas, 1055 p.
- LOPEZ S., O.A. (2008). *Protección de las Escuelas contra Terremotos*. Trabajo de Incorporación, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Julio, Caracas.
- LUCHSINGER, C. (1974/76). *Estructuras*. Folleto de Estructuras N° 4, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, 430 p. (dos volúmenes).
- LUGO, M. y FERIOLI, M.P. (1991). Encuesta de intensidades de los sismos de Curarigua (agosto-setiembre, 1991). FUNVISIS, Caracas.
- MAGLIONE di G., P. (2007). *Patología Estructural*, UCAB, julio, Caracas.
- MAGUAL, R., ALONSO, J.L. y GRAVIS, K. (1969). *ANADIMO. Análisis Dinámico de Estructuras*. División de Procesamiento de Datos, Instituto Tecnológico, Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, 20p.
- MARÍN, J. (1970a). *PROGRAMA INVC64. Investigación de columnas cortas rectangulares simétricas de concreto armado sometidas a flexocompresión esviada comparando los métodos de cálculo del ACI y del CEB*. Centro de Procesamiento de Datos, Sección de Proyectos. Fac. de Ingeniería, UCV. Caracas, 37 p.
- MARÍN, J. (1974a). *Resistencia de las secciones de concreto armado sometidas a flexocompresión: un método algorítmico general y sus aplicaciones en el diseño de columnas*. Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, UCV, Julio, Caracas, 150 p.
- MARÍN, J. (1975). *Análisis Matricial de Estructuras*. Apuntes de las clases de los Profesores Celso Fortoul P. y Simón Lamar (1969/75). Folleto de Estructuras N° 7, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, 130 p.
- MARÍN, J., SALGADO, J.L. y UZCÁTEGUI, R. (1968). *AMADEO. Un sistema para análisis matricial con computador electrónico de estructuras continuas por el método de elementos finitos*. Prof. Guía: A. Padilla y C. Fortoul. Proyecto N°1, Centro de Procesamiento de Datos, Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, 64 p.
- MARTINEZ, A. (2009). El Viaducto N° 1 de la autopista Caracas al Litoral Central. Relaciones Históricas. *Boletín N° 19, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, ISSN: 1317-6781. Caracas, pp. 155-178. /En los anexos de esta contribución se reproducen documentos de los años 1988 y 1990/.
- MAS VALL, J. (1950). *Mapa isosísmico del terremoto de El Tocuyo (3 de Agosto de 1950)*. Ministerio de Fomento, Instituto Nacional de Minería y Geología. Caracas.
- MAZA ZABALA, D.F. (1951). Las avenidas de las aguas. Diario: *El Nacional*, 22 de febrero de 1951.
- MONTES, L. (1989). Avalanchas y aludes torrenciales en la cuenca del río Limón: estudio de vulnerabilidad. *Memorias del VII Congreso Geológico Venezolano*, Tomo III, Barquisimeto.
- MOP (1947). *Normas para el Cálculo de Edificios*. Dirección de Edificios e Instalaciones, Imprenta Nacional, Caracas.
- MOP (1955). *Normas para el Cálculo de Edificios, 1955* Dirección de Edificios e Instalaciones, Tipografía Italiana, Caracas, pp. 164-171.
- MOP (1967). *Norma provisional para Construcciones Antisísmicas*. Caracas, 18 p + mapa.
- NEWMARK, N. N. (1970). *Introducción a la Ingeniería Sismorresistente*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 10, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Octubre 1976, 190 p.
- NONES DEL VALLE, R. (1942). Los ciclones en el mar de las Antillas. *Revista del CIV*, N° 145, 358-363, octubre-diciembre. Caracas.
- 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, Enero, 169p + 1 mapa.
- PAIGE S. (1930). The Earthquake at Cumaná, Venezuela, January 17,1929. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 20:1, 1-10.
- PAPARONI M., M. (1963). El problema de la corrosión de las armaduras en el concreto armado. *Boletín Técnico IMME*, N° 3, p 17-29, Caracas.

- PAPARONI M., M. (1978). *Predimensionamiento de Edificios*. Fundación Instituto de Mejoramiento Profesional, CIV. Noviembre, Caracas, 147 p.
- PAPARONI, M. y HOLOMA, S. (1976). Torres de Oficinas del Parque Central. En: *Sobre 20 Años de Actividades*, Asoc. Ven. de Pro. de Cem., (AVPC), p 499-541. Gráficas Herpa, Caracas.
- 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.
- PEÑA, J. A, DELGADO CH., J. A., PEROZO, O. y MOLINA, O. (1973). *Método y análisis sísmico de sistemas estructurales de pórticos y paredes de concreto armado*. Cuaderno N° 6, BANAP, Caracas.
- PONTE, L., SCHWARTZ, A., MIRANDA, L., MAS VALL, J. y PONTE, C. (1950). Observaciones geológicas de la región afectada por el terremoto del 3 de agosto de 1950. Inst. Nac. de Min. y Geolo., Ministerio de Fomento, Informe N° 551, Caracas, 13p. + anexos.
- PORRERO J., RAMOS C., GRASES J. y VELÁZCO G. (2004). *Manual del Concreto Estructural*. Ediciones SIDETUR, ISBN 980-6403-66-5, Seleccionar C.A., Caracas, 503 p.
- PRUSZA, A. (2003). Rehabilitación de la presa de El Guapo. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Nueva Esparta. Caracas, 82 p.
- RAMÍREZ O., O. (2006). Fundaciones en las riberas del Lago de Valencia. Cap. X de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I. ISBN: 978-12-2289-1, Caracas.
- RANGEL S., A. (2006). Desalojo preventivo por deslizamiento. Caso Barrio Santa Ana, Antímamo, Caracas. In: Capítulo XII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. I, pp. 209-226. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- RIEHL, H. (1954). *Tropical Meteorology*. Mc Graw Hill, N.Y.
- RÖHL, E. (1945). Climatología en Venezuela. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. Año IX, N° 27, 169-243, Caracas.
- RÖHL, E. (1949). Los diluvios en las montañas de la Cordillera de la Costa. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Tomo XII, N° 38, pp. 34-59, Caracas, Julio-Septiembre.
- ROSENBLUETH E., MARSAL R. J. y HIRIART F. (1958). Los efectos del terremoto del 28 de Julio y la consiguiente revisión de los criterios para el diseño sísmico de estructuras. *Revista Ingeniería*, Enero p3-30, México. /Esta singular experiencia fue presentada por Rosenblueth en la II Conf. Mundial de Ing. Sísmica, Tokyo, 1960/.
- ROY, H. (1970). *Introducción a la Estructuración de Edificios Altos*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 13, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Octubre 1977, 138 p.
- SALCEDO, D. (2006). El deslizamiento de la ladera sur del Viaducto N°1, autopista Caracas-La Guaira. . In: Capítulo XIII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. I, pp. 227-250. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- SARDI, V. (1959). Gasto máximo de los ríos y quebradas del Litoral Central, *Revista CIV*, # 275, Caracas, Febrero, pp. 14-17.
- SARRIA A. (1986). *Enseñanzas derivadas de los estudios de las misiones pos-terremoto enviadas por UNESCO o por CERESIS-UNESCO*. Ceresis, Lima, 133 p.
- SIDETUR (2001). *Los Puentes en Venezuela. Seminario Técnico*. Memorias. Noviembre, Caracas, 112 p. /Contiene bibliografía sobre puentes disponible en el Centro de Información (CID), SIDETUR/.
- SIEVERS W. (1905). Das Erdbeben in Venezuela von 29 Oktober 1900. *Fest-schrift zur Feier des 70 Geburtstages von J.J. Rein, Geographischen Vereinigung zu Bonn*, pp35-50.
- SIEVERS W. und FRIEDERICHSEN L. (1895). Das Erdbeben in Venezuela am 28 April 1894. *Mitteil. der Geogra. Gesell. in Hamburg*, vol X, p 237-244.
- SILVA C., M. (2009). *Estructuras metálicas en la arquitectura venezolana 1874-1935. El carácter de la técnica*. Ediciones FAU, UCV con la colaboración de Tekhne, Consultores de Arquitectura, S.A. y el patrocinio de SIDETUR S.A. ISBN 978-980-00-2573-4. Caracas, 293 p.
- SINGER, A., ROJAS, C. y LUGO, M. (1983). *Inventario de riesgos geológicos. Estado preliminar, mapa, glosario y comentarios*. FUNVISIS, Dep. Cienc. de la Tierra, Serie Técnica 03-83, Caracas, 126 p. + Mapa (escala 1:1.000.000).
- ROY, H. (1970). *Introducción a la Estructuración de Edificios Altos*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 13, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Octubre 1977, 138 p.
- SOZEN, M. (1970). *Introducción al Comportamiento de Edificios de Concreto Armado*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y

- adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 14, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Noviembre 1977, 129 p.
- SUAREZ V., L.M. (2002). *Incidentes en las Presas de Venezuela. Problemas, soluciones y lecciones*. ISBN-07-8170-6, Ed. Arte, Caracas, 29 capítulos.
- TAMAYO, F. (1941). Exploraciones botánicas en la península de Paraguaná, estado Falcón. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*. N° 47, Caracas.
- TORRES, R. (2006). Afectación de puentes por condiciones de servicio y/o accidentes. In: Capítulo XV de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. I, pp. 273-288. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- TORRES B., P., MARTÍN F., A. y ENGLERT, C. (2009). Proyecto y construcción del nuevo viaducto Caracas-La Guaira. En: Cap. XIV de *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II. ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- TROCONIS DE RINCÓN, O. y Colaboradores (2009). Evaluación/rehabilitación del Puente sobre el Lago de Maracaibo. En: Cap. XX de *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II., 341-362, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- UGAS, C. T. (1974). Espectros para diseño antisísmico en función de las condiciones locales del subsuelo. In: *Boletín Técnico IMME*, 11(48): 25-57, Caracas.
- URDANETA, L. (1912). Informe y plano explicativo del acueducto de Coro y Dique de Caujarao de 1866. *Revista Técnica del MOP*, N°23, Tomo II, noviembre, p 577-589 (artículo post-mortem).
- URICH, A. y LÓPEZ, O.A. (2009). Desempeño de edificios y movimiento del terreno en Los Palos Grandes durante el terremoto de 1967. *IX Con. Venez. de Sis. e Ing. Sis.*, Caracas.
- UZCÁTEGUI, R. (1969). DISIS. Distribución de Cargas Sísmicas. Método de C. Fortoul y S. Lamar. División de Procesamiento de Datos, Instituto Tecnológico, Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, 25p.
- UZCÁTEGUI, R. (1978). Un método de integración numérica en dinámica estructural. *Boletín Técnico IMME*, Vol. XVI. N° 63, 83-92, UCV, Caracas.
- UZCÁTEGUI, R. y URQUIZU, M. (1970). *Programa ANEDIF. Análisis Estructural de Edificios Aporticados*. División de Procesamiento de Datos, Instituto Tecnológico, Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, 58p.
- VELAZCO, G. (2006). Concretos resistentes a ambientes agresivos. En: Cap. XIX de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*. Consulibris, Vol. I, 339-354, ISBN 980-12-2002-3, Caracas.
- VINCENELLI, A. (1999). *Mis anécdotas*. Edit. Noel Kingsley, Caracas, 277p.
- ZAWISKA, L. (1980a). Alberto Lutowski. Contribución al conocimiento de la Ingeniería Venezolana del siglo XIX. Ministerio de la Defensa. Caracas 146 p + láminas.
- ZAWISZA, L. (1980b). *La Academia de Matemáticas de Caracas*, Ministerio de la Defensa, Caracas, 94 p + anexos.
- ZAWISZA, L. (1988). *Arquitectura y Obras Públicas en Venezuela. Siglo XIX*. 3 tomos, Ediciones de la Presidencia de la República, Imprenta Nacional, Caracas. /Vol. 1: 1780-1869; Vol. 2: 1830-1869; Vol. 3: Época de Guzmán Blanco, Referencias e Índices)/.