



PATOLOGÍA E INGENIERÍA FORENSE CASOS Y LECCIONES

RESUMEN

En esta memoria se recoge una muestra de casos propios de la patología de las estructuras sucedidos en Venezuela a lo largo de los dos últimos siglos. Algunos son de naturaleza forense y parte de ellos constituyen el sustento de recomendaciones incorporadas en las Normativas vigentes. Se han organizado según su origen en los cinco grupos siguientes: hidro-meteorológicos; geológicos y geotécnicos; accidentes, incendios o falsas alarmas; problemas constructivos o de ejecución, y; una breve sección dedicada a los puentes. En esa última sección solo se mencionan algunos casos aislados, pues la estadística sobre la afectación de estas obras de infraestructura, especialmente por razones hidro-meteorológicas, de servicio y de mantenimiento, es muy extensa. Las descripciones de casos son necesariamente escuetas; solo se tratan unos pocos casos de incendios de estructuras en Caracas. De igual modo se acompaña una lista de las referencias que sustentan el texto. Aún cuando el autor solo ha retenido aquí una casuística ilustrativa, algunos de los eventos han dejado lecciones que acaso puedan ser útiles en investigaciones pendientes; al final se recogen algunas de ellas, así como las principales recomendaciones hechas a lo largo del texto. Al final se hace énfasis en la necesidad de reconocer la naturaleza incierta del desempeño esperado de

■ J. Grases G.

email: jgrases@gmail.com

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat,
Palacio de las Academias, Bolsa a San Francisco

Fecha de Recepción: 17 de octubre de 2011
Fecha de Aceptación: 02 de noviembre de 2011

obras proyectadas con las normativas vigentes, sometidas a acciones de naturaleza no determinista.

Palabras clave: patología; ingeniería forense; inundaciones; sismos; ambientes agresivos; accidentes

FORENSIC PATHOLOGY AND ENGINEERING CASES AND LESSONS

ABSTRACT

This paper contains a recollection of events related to pathological conditions of structural systems as well as forensic type cases that have affected Venezuela since the last two centuries. Analysis of its origin contain lessons that along the last decades have been incorporated as preventive strategy to present design codes and specifications; some of them are still valid in order to reach integral preventive strategies. Collected events have been grouped according to its origin. A list of quoted references is given in order to open further windows of study. It is recommended to take uncertainties associated to external actions together with those related to expected structural response into consideration, in order to reach properly sustained quantifications of expected reliability to external hazards.

Key words: structural pathology; forensic engineering; flooding; earthquakes; accidents

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de nuestra historia, lo que hoy podemos denominar como 'la Sociedad Venezolana' ha sufrido costosas pérdidas en múltiples obras como consecuencia de eventos de origen: tanto natural como tecnológico o antrópico. Como se verá más adelante, en tiempos más modernos -últimos 70 a 80 años- buena parte de las obras afectadas se pueden considerar sustentadas por proyectos de Ingeniería.

La experiencia ha demostrado que en la práctica de la *Ingeniería Estructural* el desempeño inadecuado de obras está relacionado con una o más de las siguientes causas: (i) errores en la evaluación o selección de las acciones externas, incluido el problema de Normativas obsoletas; (ii) errores en el modelado, análisis o diseño, que afecta el dimensionamiento de elementos portantes; (iii) errores u omisiones durante la ejecución de algunas obras; (iv) acciones o efectos imprevistos de naturaleza accidental.

De una manera general, el 'desempeño inadecuado' mencionado al inicio del párrafo anterior, con frecuencia asociado a la falla o ruina de la obra, se relaciona a: (1) una vida útil previsible sustancialmente menor que la planificada; (2) la pérdida de la capacidad portante y por tanto la subsiguiente inestabilidad de obras en servicio, ocasionalmente de efectos catastróficos; (3) la ruina durante el proceso constructivo; (4) errores de operación, especialmente en instalaciones industriales, ajenas a la Ingeniería Estructural. Modernamente, todo ello es tratado en el marco de la denominada *Ingeniería Forense* (Nota 1).

Del análisis de su desempeño se desprende que, en un porcentaje significativo, el origen de los problemas ha sido el desconocimiento, o una limitada percepción, de inevitables acciones externas como son: ambientes agresivos, subsuelos inestables, inundaciones, terremotos, vientos extremos u otros. También relacionado a la Ingeniería Estructural, no puede ignorarse el problema de

las represas y embalses; sobre estas obras tres trabajos recientes son de cita obligada: Ferrer y Marín [39] quienes presentan una evaluación sobre el estado de mantenimiento de los embalses en Venezuela; Suarez Villar [100], especialista que analiza las lecciones aprendidas de los incidentes reportados en presas de Venezuela; Gaspar [46], con resultados recientes sobre el problema de la colmatación de embalses por el arrastre de sólidos; este último tema será tratado con más adelante.

Con esta recopilación se ilustran dos vertientes de la Ingeniería bien definidas: en la primera se tratan y ejemplifican casos generalmente identificados con la denominación genérica de 'forense'; en la segunda se describen criterios metodológicos preventivos, concebidos por los profesionales de la Ingeniería, para su aplicación en futuras construcciones.

2. CASUÍSTICA

Los casos que aquí se han recogido se han organizado en cinco grandes grupos según su origen o naturaleza. Estos son: hidro-meteorológicos; geológicos y geotécnicos; accidentes o falsas alarmas; problemas constructivos o de ejecución, y; una escueta sección dedicada a los puentes. En el texto se mencionan algunas lecciones que requieren medidas preventivas propias de la Ingeniería Estructural.

2.1. De Origen Hidro-meteorológico

En la **Tabla 1** se anotan algunos eventos en los cuales parte de los daños o pérdidas, fueron consecuencia de la omisión de medidas preventivas. Tomando en consideración el nivel de información que actualmente maneja un *Ingeniero Estructural*, su participación en el Proyecto hubiese podido minimizar las consecuencias catastróficas de algunos de los eventos que se describen.

Tabla 1 Eventos de origen hidrometeorológico

Referencias: [54]; [63]; [78]; [89]; [90]; [98]

FECHA	TIPO DE EVENTO	BREVE DESCRIPCIÓN
1798-02-11 a 13	Lluvias Torrenciales. Crecida de la quebrada Osorio	Daños en haciendas y viviendas entre Maiquetía y Macuto por deslaves. La Guaira fue el área más afectada por arremetida de piedras con pesos de 'hasta 100 quintales' (~ 5 toneladas); se reportan 30 víctimas [78]; [90].

1847-10-12	Inundación en Barcelona	Considerada como una de las crecientes históricas del río Neverí, causó estragos en Barcelona y su litoral.
1877-09- 22 y 23	Inundaciones en la costa central. Vientos huracanados en la península de Paraguaná	Como consecuencia de un gran huracán que afectó las Antillas desde el día 19 de setiembre, se reporta el desbordamiento del río Guarenas; el Guaire se salió de madre y parte del material arrastrado se atascó en el puente Regeneración. Daños en poblados del área de Puerto Cabello y destrozo de cafetales. En la carretera hacia el sur, inaugurada en 1875, hubo obstrucciones por derrumbes y la caída de la mayor parte de los puentes. En la noche del 23 al 24, afectó severamente la península de Paraguaná, así como las islas de Curazao, Bonaire y Aruba. No se tiene conocimiento de víctimas [54].
1892	Lluvias excepcionales en todo el país	Los efectos de estas precipitaciones en puentes y vías de comunicación se tratan en la Sección 2.5.
1912	Sequía extrema	Así como Coro fue el primer centro poblado en recibir agua de un embalse –la presa de Caujarao, construida por 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 [101].
1914-01-14	Huracán	El litoral central fue afectado. Se reportan viviendas y plantaciones destruidas; 20 víctimas.
1927-10-22	Tormenta Tropical	Se reportan 50 viviendas destruidas en el oriente del país y otras tantas afectadas; 26 víctimas.
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 la destrucción de sembradíos de cacao en Sucre y Nueva Esparta. Destrucción en áreas pobladas de Monagas y Sucre, así como a lo largo de la costa oriental de la isla de Margarita [47].
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 [78]. El ingeniero Antonio Vincentelli fue testigo presencial y publicó sus observaciones ([108], p 251-264).
1965	Desastre ambiental	En 1965 la CVG inició un proceso de desarrollo agrícola en el Delta del Orinoco; se cerró 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 [13] y [14].
1970-09-	Inundación	Cumaná bajo las aguas por crecida excepcional del río Manzanares. Se decidió la posterior construcción de un dique de control, el cual ha minimizado la probabilidad de nuevas inundaciones. Igual situación se presentó en Barcelona: se publicó un libro con los resultados de la encuesta de daños ocurridos, 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 (El Universal, 100 años)

1974-08-	Tormenta Tropical Alma	Afectación en áreas ubicadas entre los golfos de Paria y Cariaco hasta el Lago de Maracaibo; inundaciones en Valencia por crecida del río Cabrales.
1981-04-17	Inundaciones en Caracas	Pérdidas estimadas en 10 millones de US\$; cerca de 30 víctimas y número no determinado de desaparecidos.
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 [71]. La prensa menciona centenares de víctimas.
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
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 (Nota 2).
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 [12].
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.
2010, noviembre y diciembre	Lluvias pertinaces en la zona costera del norte del país	Afectación en áreas urbanas por deslizamiento de terrenos consecuencia de las intensas precipitaciones. Inundaciones especialmente en los estados Falcón, Miranda, Nueva Esparta y Zulia. Reportes de los primeros días de diciembre informan sobre roturas del dique de Játira (Falcón); el embalse de San Juan (Nueva Esparta), abrió compuertas de alivio luego de alcanzar cotas críticas.

A continuación se describen con mayor nivel de detalle algunos de los eventos anteriores, así como algunas de sus implicaciones prácticas.

- **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 fueron elevadas por los efectos destructores conocidos en: sur de Trinidad, los estados Monagas y Sucre y la costa oriental de Nueva Esparta [98]. La ruta señalada por NOAA, la cual habría pasado por Curazao, no se ajusta a descripciones muy detalladas recogidas por Gómez Rodríguez [47], cronista

de la isla de Margarita, así como tampoco al mapa publicado por el Director del Observatorio Cajigal en ese momento Eduardo Röhl [89]; 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. Este evento revela que el mapa de velocidades básicas de viento en Venezuela contenido en la Norma COVENIN 2000 del año 1986, vigente, no refleja eventos de estas características y por tanto requiere actualización (**Nota 3**). Esta tarea ya fue emprendida por CANTV para la verificación contra acciones eólicas de sus torres de microondas en el nor-oriental del país [18].

- **Inundaciones.** Este es un problema recurrente en diversas regiones del país. Sobre su control en áreas urbanas, en adición a las medidas citadas en el punto anterior, entre otros destaca la adecuación de los diques de la Costa Oriental de Lago de Maracaibo (COLM) (véase: Contreras [30]) así como el dique para controlar el caudal de salida del río Manzanares en Cumaná, construido en 1971. La historia de las inundaciones podría documentarse extensamente. Como ejemplo, puede señalarse que la evaluación de las inundaciones sufridas en el estado Apure, dieron origen a las investigaciones que finalmente condujeron al desarrollo del Proyecto de Control de Aguas y Recuperación de Tierras en ese estado según Buroz [12].
- **Deslaves en la Cordillera Norte-Central, en Febrero de 1951.** A mediados de febrero de 1951 se desencadenó una tormenta de grandes proporciones en la serranía y franja costera. Las lluvias también generaron crecientes en las quebradas de la vertiente sur de la cordillera, dando lugar a grandes crecidas del río Guaire. El Servicio de Hidrología del INOS registró en la estación El Infiernito una precipitación de 419 mm en 24 horas ([92], p 15). Esta lluvia torrencial, junto con la de 1798, fue citada como antecedente excepcional en esa zona del país. **Efectos en la Costa Norte-Central y en Caracas:** La quebrada Osorio arrastró con viviendas y pertenencias en el área de La Guaira. Más al este, la quebrada Piedra Azul multiplicó su caudal y, unida a la quebrada Seca, arrastró cerca de 120 viviendas y ranchos. La quebrada Punta Mulatos arrastró viviendas, vehículos y dañó seriamente el camposanto. En Macuto, el río del mismo nombre se llevó puentes, tramos del acueducto y de la red de cloacas, dejando inutilizable la Guzmania así como el boulevard de la playa bajo un manto de piedras, lodo y árboles. De Caraballeda a Naiguatá, las aguas se salieron de sus cauces; en Naiguatá la destrucción alcanzó la mitad del pueblo y se perdió el puente que está a la entrada viniendo de Caraballeda. Hacia el oeste, Catia La Mar sufrió severamente, por la destrucción de infraestructura económica y viviendas. En Caracas, las áreas más afectadas fueron Altamira, Los Palos Grandes, San Bernardino y sectores urbanos entre Catuche y Urapal. El ferrocarril Caracas-La Guaira, sufrió daños que ameritaron reparaciones. Los días 25 y 26 del mismo mes

se repitió el aguacero torrencial. Su intensidad y características fueron similares aún cuando el epicentro se localizó en el sector Mamo-Arrecifes el día 25 y en Los Caracas el día 26. En el primero de los eventos se desbordaron las quebradas Mamo, Arrecife y El Playón, arrasando con numerosas viviendas, en las cuales desaparecieron más de 20 personas según Vincentelli ([108], p 251-264). Simultáneamente ocurrió un derrame de 13 mil litros de petróleo. El balance de víctimas y desaparecidos excede el medio centenar y los damnificados y heridos fueron varios cientos.

Lecciones: En un artículo del doctor D.F. Maza Zavala [70], ('Las avenidas de las aguas', *El Nacional*, 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 doctor Maza, tomada de Pacheco Troconis ([78], p 112), puede considerarse premonitoria, pues fue lo que muy cercanamente ocurrió el año 1999. Medidas preventivas contra inevitables deslaves futuros se han adoptado, después de la catástrofe del año 1999 (véanse las referencias [64] y [63]).

- **Desastre Ambiental.**-En 1965 la CVG inicia un proceso de desarrollo agrícola en el Delta del Orinoco, se cierra el Caño Mánamo y genera un desastre ambiental. Documentado en [14] y [13].
- **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 ([78], p 116 y ss.): (i) las mis-

mas 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 [71], 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 temporadistas 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 algunas 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.

- **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. De acuerdo con los resultados dados por González y Córdova [48] y Prusza [84] la capacidad de alivio de la nueva represa de El Guapo, ubicada en el mismo sitio debe ser unas 10 veces mayor que la de la presa original [15] (**Nota 4**).

- **Deslaves en la Cordillera Norte-Central, en Diciembre de 1999.** Entre el 15 y el 16 de diciembre ocurrieron los deslaves de Vargas. En ese estado y en Miranda las aguas represadas en las cuencas se desbordaron, generando grandes daños. Los saqueos y robos en Vargas completaron la dantesca escena. Nunca se supo con certidumbre el número de víctimas; los damnificados superaron los 100 mil. Este es considerado como uno de los desastres más grandes ocurridos en el país. Edificios de varios niveles, de concreto armado, bien diseñados, perdieron parte de su estructura por el impacto de grandes rocas que fueron arrastradas por los deslaves (**Nota 2**).
- **Pérdida de Puentes por escaso Tiro de Aire.** Breve comentario en la **Sección 2.5** de esta memoria.
- **Nuevos deslaves en Vargas, en febrero de 2005.** Sentimientos de frustración y angustia. De acuerdo con las evaluaciones de Torres [102] (p. 275), las vaguadas de febrero en extensas áreas pobladas del país, dieron lugar a la pérdida de 68 puentes en siete estados diferentes.
- **Derrumbe de siete Torres de la Línea de 750 KV: San Gerónimo-Valles de El Tuy.** 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, Hipólito Izquierdo, atribuyó el accidente a fuertes vientos; la falla de un conductor puede generar torsión y/o flexiones en la torre. Se estimó que la reparación pudiese requerir dos meses. Este caso aún está en estudio. En 2008 hubo tres grandes apagones a nivel nacional (**Nota 5**).
- **Dique de Játira o Tocuyo de La Costa, Falcón.** Construido hacia 1971, esta obra de control de inundaciones con alturas de 6 a 7 m, sufrió daños limitados con ocasión de las lluvias de 1999. El 6 de diciembre de 2010 la prensa reporta

la falla de varias secciones con las consiguientes inundaciones aguas abajo (**Nota 6**).

- **Colmatación de Embalses.** 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 y finalizado en 1866 por el ingeniero Luciano Urdaneta, fue la obra de Ingeniería más importante hecha en el país hasta ese momento ([105], post-mortem). Relacionado a la Ingeniería Estructural, el problema de **las Represas y Embalses** no puede ignorarse. Tres trabajos recientes son de cita obligada: Ferrer y Marín [39] quienes presentan una evaluación sobre el **estado de mantenimiento** de los embalses en Venezuela; Suarez Villar [99] y [100], analizó las **lecciones aprendidas de los incidentes** reportados en presas de Venezuela; Gaspar [46], con resultados recientes sobre el problema de la **colmatación de embalses por**

el arrastre de sólidos. En el proyecto de este tipo de obras es usual suponer una vida útil de 100 años. Nos referiremos esencialmente al último de los trabajos citados, pues está afectando la vida útil antes aludida. En efecto, esta puede quedar drásticamente reducida si no se evalúa en forma apropiada el volumen de sólidos proveniente de la cuenca que alimenta un determinado embalse. Dos ejemplos: (i) el embalse Pedregal (Camare) fue puesto en servicio el año 1978 y 11 años después se encontraba totalmente colmatado; (ii) el embalse Guaremal (Yaracuy) puesto en operación el año 1973, hoy en día almacena un volumen de agua muy limitado. En el citado estudio de Gaspar [46], este autor llegó a las siguientes conclusiones: con la escasa información disponible (mediciones en 17 de los 81 embalses en operación) se ha perdido el 39% de la capacidad de almacenamiento de nuestros embalses (**Tabla 2**) (**Nota 7**).

Tabla 2. Resultados de porcentajes de sedimentación en una muestra de 17 embalses (fuente: [46])

Embalse N°	Tiempo de Operación (años)	Porcentaje Sedi-mentado (%)	Embalse N°	Tiempo de Operación (años)	Porcentaje Sedi-mentado (%)
1	9	17.6	9	36	39.1
2	17	2.0	10	16	6.5
3	18	43	11	11	15.6
	20	34	12	18	0.8
	33	51	13	33	48.9
16	19.7	55		65.4	
4	20	14.1	14	57	25.3
	35	38.0		63	25.8
	5	19		39.0	15
6	14	7.1	15	24	53.5
7	35	16.0		16	29
8	32	17.8	17	11	100

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) carencia de datos confiables sobre la producción de sedimentos, aunado a que en algunos casos se ignoró el problema en el diseño del embalse. A continuación, se reproducen resultados de cálculos de

sedimentación basados en mediciones batimétricas en una muestra de 17 embalses reportados por el ingeniero José Gaspar. Tomando en consideración los porcentajes de almacenamiento total de los diferentes embalses, se obtiene un valor ponderado a nivel nacional igual al 39% de pérdida de almacenamiento antes mencionado. Además, de los 17 embalses estudiados, 15 tienen menos de 40 años y 12 tiene 35 o menos años. El problema estudiado en [46] requiere la mayor atención por parte del Estado.

2.2 Geológicos y/o Geotécnicos

En la **Tabla 3** se anotan algunos eventos en los cuales parte de los daños o pérdidas, fueron consecuencia de una subestimación de las acciones sísmicas, así como omisión de medidas preventivas. Tomando en consideración el nivel de información que actualmente maneja un *Ingeniero Estructural* y los documentos

normativos que se han elaborado, su participación en proyectos similares hechos en la actualidad seguramente minimizaría la probabilidad de consecuencias catastróficas de algunos de los eventos que se describen (**Nota 8**).

Eventos anteriores a 1766 escapan a esta presentación. Solo se retiene el caso de los maremotos de Cumaná, por las razones que se indican más abajo.

Tabla 3 Eventos de origen geológico y/o geotécnico (1766-2009)
(Referencias: [23]; [40]; [41]; [51]; [98])

FECHA	TIPO DE EVENTO	BREVE DESCRIPCIÓN
1766-10-21	Terremoto	Con probable área epicentral al norte del Estado Sucre, por la extensión de la superficie afectada y la duración del periodo de réplicas este es uno de los mayores sismos que ha sufrido el país en tiempos históricos. No se conocen reportes de 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.
1812-03-26	Oleaje anormal	En el periódico <i>The Times</i> , Londres, un capitán de barco que fue testigo presencial del sismo en La Guaira, describe un oleaje anormal en el puerto, casi simultáneo con la trepidación del terreno.
1853-07-15	Terremoto y Maremoto	Daños importantes en Cumaná. Incursión del mar tierra adentro; descripción similar a la sucedida con el sismo de Enero de 1929. La cifra de víctimas oscila entre 113 y 'cercana a mil'.
1875-05-18	Terremoto	Aún cuando la zona epicentral de este sismo ha sido ubicada en las cercanías de Cúcuta donde causó numerosas víctimas, durante años se ha asociado al sistema de fallas de Boconó, el cual se extiende en dirección nor-este siguiendo la cordillera de Los Andes Venezolanos. Daños en poblaciones del Táchira. 461 víctimas en Cúcuta y alrededores [86].
1878-04-12	Sismo local	Destructor en Cúa. En este sismo local destacan los efectos geológicos y emanaciones de agua caliente, en trabajo de campo pionero realizado por el profesor Adolfo Ernst [38]
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. De acuerdo con Brun este sismo ocasionó la pérdida de varios kilómetros de la línea férrea Santa Bárbara - El Vigía; puentes y dos estaciones, fueron destruidos [11]. Se constataron pronunciados fenómenos de licuefacción en el área. 319 víctimas reconocidas.
1900-10-29	Terremoto	Este es uno de los primeros sismos registrados instrumentalmente con la primera red de cobertura mundial [42]; también dio lugar a los primeros mapas de isosistas de un sismo venezolano [22] y [96]. 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 [43]. 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 [2].

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 [79] 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 [75].
1950-08-03	Terremoto	Aún cuando no resultó ser un evento destructor en Venezuela, el área de Arboledas-Cucutilla de la República de Colombia sufrió los efectos de este temblor en horas de la mañana [85].
1950-08-03	Terremoto	Este sismo ocurrió hacia las 5 PM del mismo día que el sismo anterior. Fue destructor en El Tocuyo y áreas cercanas [69]; los mayores daños en esta ciudad histórica fueron debidos a la intervención de cuadrillas de demolición. 8 víctimas. Destaca el buen desempeño de edificaciones escolares construidas con las Normas del Ministerio de Obras Públicas vigentes en esas fechas [83].
1967-07-29	Terremoto	Al igual que el anterior, 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 [93]. A las 8 PM, cerca de 300 víctimas por la caída total o parcial de edificaciones en áreas de Caracas y Caraballeda: [24]; [26]; [41]; [51]. Marcó el inicio de los estudios de Ingeniería Sísmica en nuestro país. Licuefacción y deslizamientos en la riberas del lago de Valencia de extensas áreas cercanas a Güigüe según trabajos de campo referidos en [2].
1989-04-30	Fuerte sismo local	Daños en Boca de Tocuyo y Tocuyo de la Costa, estado Falcón.
1997-07-09	Terremoto	Destrucción en Cariaco, estado Sucre, por efectos de un sismo de magnitud 6.9. Desplome de un liceo y ruina de una escuela, así como daños en construcciones el área. Traza visible de falla de El Pilar a lo largo de algo más de 30 km y desplazamiento permanente de hasta 60 cm. 70 víctimas y 7000 damnificados. Desplome de una edificación de 7 niveles en Cumaná, ubicada unos 75 kilómetros al oeste de la zona epicentral, con un balance de 32 víctimas fatales.
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; tres horas antes del súbito deslizamiento, el desalojo fue obligado por fuerzas del orden público. Según Rangel, se evitaron pérdidas de vidas en una comunidad que ocupaba 120 viviendas en 14 mil m ² calificados como 'situación de riesgo' [88].
2006-03-19	Macro-deslizamiento	El apoyo sur del viaducto N°1 de la autopista Caracas-La Guaira, de un vano, quedó sobre un macro-deslizamiento no identificado para las fechas de su proyecto hacia 1950. En 1982 se constataron desplazamientos progresivos que comprimieron la estructura hasta su derrumbe el 19 de marzo de 2006 [17].
2007-11-29	Sismo en las Antillas Menores, al oeste de Martinique, fuertemente sentido en Guayana	Este evento de magnitud 7.3 ocasionó angustia en Puerto Ordaz y Ciudad Bolívar. En la red de acelerógrafos de CVG-EDELCA quedó constancia de niveles de aceleración sorprendentes para un evento a más de 700 km de distancia [32]. Algo similar se reportó en Ciudad Bolívar el año 1953 como consecuencia de un sismo de magnitud algo mayor, con epicentro al oeste del arco Santa Lucía-Martinique [35]. En ambos casos se trata de eventos con foco a unos 140 km de profundidad [9].
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 4.0 y 4.4 sucedidas ese mismo mes, revelaron que: (i) el sismo y sus réplicas se encontraban asociadas a la falla de La Victoria [94]; (ii) se presentaron claros fenómenos de migración de focos de Este a Oeste (www/FUNVISIS.gov)

A continuación se describen con un mayor nivel de detalle algunos de los eventos anteriores, así como algunas de sus implicaciones prácticas. También se deja constancia de algunos aspectos que merecen atención por parte de nuestros sismólogos.

- **Maremotos en Cumaná.** Sobre este tipo de eventos ha quedado testimonio escrito desde el año 1530 -primero historiado en América- hasta los más recientes del siglo XX. En el caso del primero de ellos, se considera que el suceso descrito tiene credibilidad, tanto por algunos detalles de la descripción hecha por el cronista, como por el hecho de que en tiempos más recientes ha quedado el testimonio escrito de eventos similares. En efecto se tiene conocimiento de daños constatados por marejadas posteriores, atribuibles a sismos, en los siguientes eventos: 1853 (Cumaná), 1900 (Puerto Tuy y Barcelona) y 1929 (Cumaná). Sobre el primer evento, época en la cual la desembocadura del río Manzanares se situaba más al oriente de la actual, la información es escueta. Con relación a los otros citados, las descripciones conocidas son similares: el mar se retiró (reflujo) y luego volvió acompañado de una ola de cierta altura que incursionó tierra adentro. En ningún momento se había puesto en duda la relación causal: 'sismo'- 'desplazamiento de falla tectónica' -'maremoto'. Sin embargo, un evento más reciente, el denominado 'terremoto de Carriaco' del 09-07-1997, dio lugar a un fenómeno similar de flujo-reflujo de menor cuantía, en el muelle pesquero de Cumaná cercano a la Boca, actual desembocadura del río Manzanares [45]. Dos jóvenes que pescaban en el extremo del muelle fueron derribados por el empuje del agua y, según noticias de prensa, uno de ellos perdió la vida (Prensa local). Con epicentro ubicado unos 75 kilómetros al Este del muelle, la eventual relación de la perturbación hidráulica con un desplazamiento tectónico, parece remota. Esto ha dado origen a la consideración de otro tipo de mecanismo local posible, el cual se sustenta en dos hechos: (i) el río Manzanares arrastra abundante material fino en suspensión; (ii) la batimetría del área marina cercana a la costa en la cual se deposita ese material tiene fuerte pendiente. La pérdida de equilibrio de este talud bajo acción vibratoria, pudiera explicar fenómenos como los observados en tiempos históricos. Esto se considera verosímil con los conocimientos que se tienen hoy en día sobre la respuesta dinámica de terrenos saturados. Si esta hipótesis quedase confirmada, el riesgo de futuros '*maremotos*' en el área urbana de Cumaná podría reducirse por medio de explosiones periódicas controladas. Con relación a estas acciones no existen documentos específicos dirigidos a la cuantificación de sus efectos en muelles abiertos; las medidas preventivas descritas en la literatura sobre el tema se han orientado a minimizar los efectos de una eventual marejada, especialmente para el caso de bahías muy cerradas.
- **Terremotos del 26 de marzo de 1812:** La cita es en plural pues Centeno Graü [23] y Fiedler [40], así como otros autores, han interpretado la descripción de los daños conocidos como un evento múltiple con tres áreas epicentrales: Caracas-La Guaira; San Felipe-Barquisimeto; Mérida. Investigaciones recientes de Altez [4], parecen justificar la afirmación de que el sismo de Mérida sucedió aproximadamente una hora después del de Caracas-La Guaira. Este no sería un caso único en la región pues otros eventos históricos han mostrado dependencia entre eventos distantes, separados pocas horas entre sí.
- **Terremoto de El Tocuyo, agosto de 1950.** Este evento, sucedido el día 3 de agosto de 1950, 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 al campo para evaluar los efectos de este sismo; entre los resultados de esas evaluaciones, el geólogo Mas Vall elaboró un mapa de isosistas con base a la información constatada en el campo [69].
- **El terremoto de Caracas de 1967.** Este sismo ha sido estudiado en muy diversas latitudes por una particularidad: para la fecha del sismo, Caracas era una ciudad con un buen número de edificaciones de varios niveles -hasta 30 de la Torre Capriles-. Su intensidad y, muy especialmente su duración, fueron tales que, aún cuando se desplomaron cuatro edificios en Caracas así como otros pocos de menor altura en la urbanización Caribe, quedaron en pie varias docenas de edificaciones modernas, con daños visibles en sus estructuras de concreto armado; esos daños señalaban la formación de los mecanismos en las estructuras de esas edificaciones en su ruta hacia el estado de inestabilidad. La ciudad fue, literalmente, un campo de experimentación

de estructuras con geometrías, alturas y esbelteces muy diferentes, cuya respuesta, además, no se vio perturbada por otras edificaciones adyacentes, lo cual facilitó la comprensión de su desempeño y por tanto las lecciones que dejó a la vista [26]; [27]. Lo anterior explica el elevado número de informes técnicos que se publicaron en los países que ya venían estudiando el tema, sus principales lecciones y la trascendencia en la Ingeniería Estructural. Entre los trabajos en Venezuela, véanse: [10]; [24]; [26]; [41]; [51].

- **Colapso del Viaducto N° 1 de la Autopista Caracas-La Guaira, febrero 2006.** Debido a la accidentada topografía del trazado seleccionado para unir Caracas y La Guaira con una autopista, esta requirió el proyecto de tres viaductos y dos túneles. El viaducto N° 1 es el más cercano al extremo Caracas: con una longitud total de 308 m, 23 m de anchura, 70 m de altura, su arco central tenía una luz libre igual a 154 m entre sus articulaciones de apoyo, para salvar la quebrada de Tacagua con rumbo aproximado NW-SE. El proyecto se concluyó hacia finales de los años 40 y, construido por la empresa Campenon Bernard bajo la supervisión del ingeniero Eugene Freyssinet, el año 1953 entró en servicio. Sobre el proyecto del viaducto N°1 y las condiciones locales de apoyo, su proyectista publicó un artículo descriptivo 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” [44]. Por esa razón se evitaron empotramientos en los apoyos, disponiendo allí las célebres ‘articulaciones Freyssinet’, con lo cual: “...los momentos flectores en las bases se redujeron prácticamente a cero”. La consideración sobre eventuales sismos redujo de 3 a 2 articulaciones el 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” (**Nota 9**). La influencia de efectos adversos -‘paradeformismo’- fue advertida en múltiples informes por parte de especialistas en la geología del área [68]. La evolución de los desplazamientos progresivos del talud que desplazaron el sistema de fundación del lado sur, desde sus primeras manifestaciones visibles a mediados del año 1986 hasta fechas cercanas a su colapso se dan en Salcedo [91]. 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 por el profesor Camargo Mora[17]; en la parte final de ese trabajo, el autor discute el probable mecanismo de ruina. 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.

- **Reforzamiento de los Diques de la Costa Oriental del Lago, 1996.** Los problemas generados en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM) por hundimientos en zonas pobladas consecuencia de la extracción del petróleo, fueron mitigados por medio de diques de contención cuya altura fue creciendo progresivamente. Hacia los años 90 se identificó el riesgo de inestabilidad de estos diques, ya con cerca de 7 metros de altura en algunos tramos, como consecuencia de un fuerte sismo distante generado por la falla de Boconó. Luego de detenidos estudios sobre las mejores medidas de prevención, hacia el año 1996 el dique quedó debidamente reforzado para minimizar los eventuales efectos de licuefacción en las bases del mismo [30] (**Nota 10**).
- **Efectos de Amplificación en Cumaná por Terremoto de Cariaco.** En 1997 sucedió un sismo de magnitud 6.9 en las cercanías de Cariaco. En esa localidad los efectos de este sismo fueron destructores: ruina de un liceo, así como de una escuela y de múltiples viviendas del área, con importante saldo de víctimas. Algunas instalaciones industriales del área, especialmente rellenos hidráulicos y otras obras de tierra, sufrieron marcados efectos de inestabilidad; otras fueron deformadas por el desplazamiento permanente de unos 60 cm de la falla de El Pilar. El epicentro de este sismo fue ubicado a más de 70 km de Cumaná, ciudad en la cual el movimiento del terreno quedó registrado en una estación acelerográfica ubicada en un suelo tipo roca. Una edificación de concreto reforzado, consistente de: sótano, planta baja más seis niveles, con marcadas irregularidades tanto en planta como en elevación, perdió su estabilidad con un trágico balance de más de 30 víctimas.

Los análisis efectuados por una Comisión ad-hoc de expertos, concluyó que: (i) en el sitio se produjeron efectos de amplificación por el tipo de subsuelo; (ii) las características del subsuelo local -un aluvión reciente de más de 45 m de espesor- generaron efectos de amplificación en las vibraciones del depósito que excedieron los requerimientos de la Norma que se encontraba en vigencia para la fecha en la cual se proyectó la estructura; (iii) lo anterior, unido a las irregularidades de esa estructura en particular, precipitaron la ruina de la edificación. Casos similares a nivel mundial, donde irregularidades similares a las de esa estructura condujeron a un desempeño indeseable, han sido el sustento de penalizaciones en las normativas de diseño, las cuales también fueron incorporadas en las normas vigentes en Venezuela desde el año 2001 [28].

- **Deslizamientos en Zonas Urbanizadas así como en Áreas Marginales.** Este problema de naturaleza recurrente es motivo de evaluación sistemática en los desarrollos urbanos. Debe señalarse como caso singular, el desalojo preventivo por deslizamientos del barrio Santa Ana, Antímano, que ordenó el ingeniero Ángel Rangel S., Director de Defensa Civil en ese momento [88]. Esta decisión salvó incontables vidas de personas que inicialmente se encontraban reacias a desalojar el área.
- **Fenómenos de Baja Atenuación en el Oriente de Venezuela.** El 29 de noviembre de 2007, se registraron acelerogramas en la red de CVG-EDELCA instalada al sur del Orinoco. Se trataba de vibraciones generadas por un sismo de magnitud 7.3, foco intermedio (143 km), cercano a la isla de Martinica, a más de 700 kilómetros de las estaciones de registro; por ejemplo en Guri, a 817 km de distancia, la aceleración resultante (combinación de las tres componentes) fue de 74 gales. Este sismo, fuertemente sentido en Puerto Ordaz y otras localidades del sur, ofrece particularidades semejantes al que se reportó en Ciudad Bolívar el 19-03-1953, de magnitud 7.5, foco a 135 km de profundidad, a distancias similares [35] y [49]; sobre este último sismo solo quedaron las descripciones de los efectos del temblor: desplazamiento de mobiliarios e intensidad de Mercalli de las sacudidas. Estas observaciones merecen atención por parte de nuestros sismólogos y, eventualmente, una revisión de los mapas de zonación sísmica. 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 Paría, 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 Güiria [9]. Las razones de esta particularidad están pendientes de investigación; en cualquier caso, será necesario considerar su influencia en futuras actualizaciones de los mapas de zonificación sísmica vigentes.

2.3 Afectación por Accidentes, Incendios o Falsas Alarmas.

- Ciertos accidentes han requerido la intervención de los Ingenieros Estructurales, con el fin de diseñar y verificar la restitución de las condiciones originales de la estructura afectada, así como prever eventuales desempeños indeseables. A continuación se mencionan algunos de ellos.
- **Incendio del Coliseo o Teatro Caracas, 1919.** Construido en 1854 entre las esquinas de Veroes e Ibarra, 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 [7].
- **Falsa Alarma en la Iglesia de Santa Teresa, Caracas, 1952.** El miércoles Santo de ese año, 50 personas perdieron la vida en la basílica de Santa Teresa cuando trataban de escapar del recinto ante lo que resultó ser una falsa alarma de incendio. Evaluaciones hechas a posteriori sobre la seguridad de ese templo, dieron lugar a un reforzamiento con tensores en la dirección transversal; este se ejecutó años antes del sismo de 1967.
- **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 de unos 15 niveles, tiene la particularidad de alternar un entrepiso rígido con uno blando. En 1977 sufrió un incendio en los niveles 7 y 8. Años después, en febrero de 1998, sucedió un segundo incendio que afectó los pisos 4, 5 y 6, aparentemente más intenso y de mayor duración que el primero. Insuficientemente documentado,

esta estructura fue reparada en ambos casos [66].

- **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 generó 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 número 8 al momento en que descargaban 16 mil litros de combustible provenientes del ‘barco banquero’ Murachí. En horas del mediodía el fuego del tanque número 8 parecía controlado, pero a las 12:35 PM explotó el tanque número 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 se desconocen los resultados de la misma (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* [25].
- **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 (El Universal, 100 años).
- **Incendio en los pisos superiores de la Torre Este del Parque Central, Caracas, 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 [66]. La reparación de daños, estimada inicialmente en dos años, ya lleva siete y la edificación aún no ha entrado nuevamente en servicio. Sobre el tema de evaluación y reparación de estructuras de concreto armado dañadas por incendios véase la ponencia de los ingenieros Beauperthuy y Scannone [8]. 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 [81].

2.4 Problemas Constructivos

De una forma u otra, los casos que se anotan a continuación han dejado lecciones que es conveniente que los Ingenieros de campo conozcan. En su mayoría no son consecuencia de problemas de cálculo, sino más bien relacionados al dominio de la ejecución de obras, el medio ambiente y la ausencia de medidas preventivas por parte de los Ingenieros de campo.

- **Corrosión de la Estructura del Hospital Universitario del Zulia; finales de la Década de los años 50.** Este es uno de los primeros casos de corrosión en una estructura de concreto armado reportado en el país; fue estudiado por el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, UCV. Para esas fechas, el citado hospital era una de las mayores estructuras de concreto armado existentes en Venezuela y, por la importancia del servicio que prestaba, fue reparado a lo largo de un lapso cercano a los 7

años. A finales de la década de los 50, la estructura de concreto armado con una antigüedad de pocos años, comenzó a señalar síntomas típicos de corrosión en las armaduras de refuerzo: agrietamiento visible a lo largo de las mismas, caída de trozos de recubrimiento en esquinas de columnas y algunas manchas marrones en esas áreas. El ingeniero Ramón Espinal V., director del Laboratorio para esas fechas, inspeccionó los daños y se realizaron levantamientos de los mismos. Se planificaron estudios en el sitio: toma de muestras de los agregados empleados (canta de agregados gruesos provenientes de la isla de Toas; saques de arena cercanos a la línea de costa al norte de Maracaibo; cementos empleados); análisis químico de muestras de concreto y del refuerzo. La identificación de las fuentes de agregados finos empleados en la elaboración del concreto, provenientes de Santa Cruz de Mara, reveló que la arena suplida para la obra contenía, además de cloruros, porcentajes considerables de sulfato de magnesio. El yacimiento parece haber sido una antigua laguna cercana a la línea de costa del lago, rellena, y cubierta con una costra salina. Los resultados de la investigación hecha por el doctor De Sola fueron publicados [34]. Como estrategia de reparación, una vez identificados los focos de corrosión, se aplicó la siguiente: remoción del material afectado, empleo de cepillo de cerda metálica para retirar los productos corroídos y nuevo recubrimiento con morteros ricos en cemento. Estos focos, y la extensión de su reparación, fue replanteado en planos ad-hoc y, siete años después la estructura se consideró reparada. La remediación partió de la hipótesis que una vez dispuesto el nuevo recubrimiento las capas internas de concreto con sal, alejadas de las armaduras de refuerzo, no alcanzarían a tener humedad suficiente para actuar como electrolitos. Hasta donde se tiene información esta hipótesis resultó válida y, en ningún momento, se interrumpió el servicio en el Hospital Universitario. Sobre la falta de percepción de eventuales problemas de corrosión como el aquí descrito, por parte de los profesionales de la Ingeniería Estructural, Constructores e Inspectores, se reconoce como pionero el trabajo del profesor Paparoni [80]. Se trata allí el tema de las 'celdas de corrosión' (corrosión electroquímica) que ocasiona el paso de iones metálicos a un electrolito, generalmente agua con sales disuel-

tas, estableciéndose un circuito eléctrico: la zona anódica del metal cede iones metálicos positivos a la solución lo cual equivale a una destrucción paulatina del metal, pues son átomos que abandonan la red cristalina del mismo. Sobre los problemas de corrosión y tratamiento preventivo en el Puente General Rafael Urdaneta, consúltese el muy bien documentado trabajo de la profesora Troconis de Rincón [104].

- **Reventones de la Línea de Gas Anaco-La Mariposa, 1958.** 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. Algo similar sucedió el día siguiente, 9 de septiembre, entre los kilómetros 160 y 165 del mismo gasoducto, entre las 11 y 12 am, a diez kilómetros de San Antonio de Tamanca en la carretera hacia Uveral. Estos casos, aparentemente resultado de acciones de sabotaje, están documentados en trabajo reciente del profesor Rubén Caro [20]. Se dan allí detalles del tipo y extensión de la falla, las cuales quedaron limitadas en las zonas donde la tubería quedaba bajo terraplenes. Más adelante, en esta memoria, se cita otro accidente de falla de un gasoducto, este de naturaleza catastrófica, generado por una excavadora en 1993.
- **Daños por Súbita Creciente en Embalse río Pedregal, Falcón, noviembre de 1977.** En noviembre de 1977 las aguas del río Pedregal bajaron de forma impetuosa durante 15 días. Para esas fechas, la presa de tierra del mismo nombre, de 30 metros de altura se encontraba cercana a su culminación por parte de la empresa del Grupo VIALPA. El material arrastrado por la corriente cerró el túnel de descarga con lodo, piedras y vegetación, dando lugar a un caudaloso derrame sobre la ataguía [82]. Los obreros que operaban en la restitución del funcionamiento del túnel se encontraban expuestos a la creciente, lo cual dejó un saldo de 6 víctimas y numerosos lesionados. Luego de diversos intentos para restituir el funcionamiento del mismo, el túnel se logró destapar por medio de explosiones de

fondo, dispuestas y controladas por especialistas de la Marina.

- **Muelle de Concreto de finales de los años 70, dañado por Ambiente Agresivo.** Los problemas de corrosión en obras de concreto armado por exceso de cloruros en la mezcla de concreto, sea en los agregados o en los aditivos, se ilustró con el Hospital Universitario de Maracaibo en esta misma **Sección**. En ambientes agresivos, el origen de la corrosión pueden ser además de la salinidad, el grado de humedad y la temperatura, actuando en miembros de concreto reforzado con recubrimientos inadecuados o fisuración incipiente. Con diferentes grados de afectación estas situaciones se presentan en obras ubicadas en las cercanías de nuestras extensas áreas costeras, especialmente en obras de infraestructura como los muelles. El caso de un muelle marino, de más de medio kilómetro de extensión aguas adentro, construido con vigas prefabricadas de concreto pretensado es descrito por Velazco [107]. De acuerdo con el diagnóstico hecho, la corrosión fue iniciada por una combinación de causas: (i) espesor de recubrimiento y relación agua/cemento inadecuadas; (ii) condiciones ambientales agresivas por su humedad, temperatura, acción del viento y humectación con agua de mar (zonas de salpique); probable aparición de zonas de tracción en el concreto bien sea por solicitaciones accidentales (impacto en el atraque de buques o cargas rodantes con cargas en exceso de las de diseño) o pérdidas de postensión por retracción y fluencia. En todas las 54 vigas de 1.45 m de altura y 30 m de longitud, se identificaron daños considerados graves; por tanto la adecuación de esta obra para asegurar una vida útil de por lo menos 30 años presentaba costos elevados de intervención y mantenimiento.
- **Excavadora Intercepta Tubería de Gas en Las Tejerías, estado Aragua, 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-lado sur- 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 señalar eventuales responsabilidades de este trágico accidente, la discusión se centró en el cumplimiento de las normativas de PDVSA sobre la profundidad mínima que deben guardar las tuberías de gas enterradas. El caso fue llevado los Tribunales (El Universal, 100 años)

2.5 Puentes y Viaductos.

Los puentes y viaductos son obras de infraestructura que pueden ser afectados por diferentes causas: sea accidentales (véase: puente sobre el Lago, **Sección 2.3**), macro-deslizamientos (véase: Viaducto N° 1, **Sección 2.2**), por fenómenos hidro-meteorológicos (véase esta **Sección**), por socavación de pilas consecuencia de la extracción de arena, por estimaciones inadecuadas del tiro de aire, por falta de mantenimiento u otras [95]. En la **Tabla 4** se recoge información sobre algunos pocos casos que ilustran lo anterior. Más información en [102] Torres (2006). Sobre los puentes ferrocarrileros consulte: [55] y [3].

TABLA 4. Afectación de puentes

Referencias: [7]; [97]; [102]; [109]

Identificación	Año	Breve Descripción
Puente Carlos III, Caracas	1781	Dstrucción por lluvias torrenciales del primer puente Carlos III sobre la quebrada Catuche, hecho de madera en 1773. En 1783 se reconstruyó en arco de mampostería. Esta creciente también destruyó el puente La Trinidad, aguas abajo, construido en 1775

Puente de acceso a Valencia viniendo de Caracas	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.
Puente de Abril o Guanábano	> 1875	Este caso es tratado en esta Sección 2.5 con más detalle. Pudiera ser 1885
Puente sobre el río Cabriales, Valencia	1880	Falla por excesiva carga el día de su inauguración.
Puentes sobre el río Guaire	1892	El Cordonazo de San Francisco de 1892, destruyó tres puentes que cruzaban el río Guaire. Volcamiento del puente de Hierro sobre ese río el día 7 de octubre, por represamiento de troncos y ramas que formaron un dique.
Puente Paparo sobre el río Tuy	1900	Pérdida de este puente y de parte de la línea férrea entre Carenero y Río Chico, por desplazamientos permanentes del terreno, efectos del terremoto del 21 de octubre.
Puente sobre el río Chama	1912	Reparaciones; este caso no está debidamente documentado.
Puente sobre el río Chama	¿1938?	Construido en 1923, fue dañado por una gran crecida del río
Puente sobre el río Uribante		Puente colgante de 136 m de luz libre. ¿Afectación?
Puente sobre el Lago de Maracaibo	1964	Choque de un tanquero (descripción más detallada en esta Sección) [56]. En esta Sección 2.5 , se tratan los problemas de corrosión y rehabilitación.
Amplia afectación del sistema vial	2005	Las precipitaciones de los meses de febrero y marzo en el país, afectaron un total cercano a 60 puentes (El Universal, año 2005).
Viaducto Caracas-La Guaira	2006	El apoyo sur de este viaducto de un vano, quedó sobre un macro-deslizamiento no identificado para las fechas de su proyecto en 1950. Hacia 1982 se constataron desplazamientos progresivos que comprimieron la estructura hasta su derrumbe el 19 de marzo de 2006 (véase la Sección 2.2). En 2007 se inauguró un nuevo viaducto con una configuración menos vulnerable a eventuales movimientos de la ladera sur [103].
Afectación del sistema vial	2010	Lluvias pertinaces durante el mes de noviembre y primeros días de diciembre, ocasionaron inestabilidad de taludes e inundaciones que afectaron el sistema vial.

- **Puente de Abril o Guanábano (> 1875).** En la *Historia de la Ingeniería en Venezuela* del doctor Arcila Farías [7] (vol. II, Figuras 93 y 94), se describe en forma muy somera uno de los casos que puede calificarse como de 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 Figura 93) y “*Puente de Abril. Detalles de su extraña estructura de arcos ojivales. Obra del ingeniero Roberto García*” (leyenda de la Figura 94). De acuerdo con Zawisza [110] (vol. III, pp. 278 y 279), este puente fue proyectado por el ingeniero Jesús Muñoz Té-

bar y permaneció en construcción durante varios años 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. 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*” (Zawisza ya citado); 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 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. Al inicio, la dirección de esa obra se encargó al ingeniero Antonio Malaussena (**Nota 11**); luego pasó a ser responsabilidad del ingeniero Juan Hurtado Manrique y, finalmente, del ingeniero Roberto García. 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 quedó constituido 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. 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 Malaussena’. 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*’. Muy probablemente se refiere a los eventos del año 1874 que se dan en [78].

- **Gran creciente del Guaire arrasó con tres Puentes, octubre de 1892.** El 7 de octubre de 1892, cayó sobre Caracas una fortísima precipitación. Personal que laboraba en el ferrocarril Caracas-Santa Lucía, en la zona de El Encantado, Petare, describieron el enorme volumen que, según el ingeniero Germán Jiménez [58] habría alcanzado 900 m³/seg. La crecida destruyó los tres puentes que cruzaban el río Guaire: 2 a la altura del sitio conocido como Canteras Miranda (a 2 km del actual puente Baloa), así como el puente de Arenaza, al inicio de la planicie de Santa Lucía. Pacheco Troconis señala este año como uno de los más lluviosos; desde el oriente al occidente, la lluvia no cesó en dos días [78].



FIGURA 1.- Estado del Puente Libertador, luego que las Aguas Pasaron por Encima de la Plataforma Vial en 1943
(fuente: <http://www.rescate.com/inundacion.html>)

- **Reparación del Puente sobre el río Chama.** En la Revista Técnica del MOP del año 1912, Tomo II, se da información relativa a la necesidad de reparar el puente sobre el río Chama, ubicado entre Mérida y Santa Catalina: “...después de la última gran avenida de ese río”. El Gobierno envía la cantidad de Bs. 2.000.- para: “... la reconstrucción del puente...cantidad que se entregará por la Agencia del Banco de Venezuela en Maracaibo, a los ciudadanos Jasé Rafael Salas, Adolfo Briceño Picón y Juan Espinoza Paredes, miembros de la Junta de Fomento del puente en reconstrucción...”.
- **Pérdida del Puente Colgante “Libertador”, ubicado entre San Cristóbal y Táriba.** En San Cristóbal, estado Táchira, se guarda memoria de la crecida excepcional del río Torbes que la noche del día 03 de junio de 1943 destruyó el citado puente diseñado por el ingeniero francés Gustave Eiffel (1832-1923). Las aguas pasaron por encima de la plataforma vial (<http://www.rescate.com/inundación.html>).
- **Choque de un Tanquero contra el Puente sobre el Lago en 1964.** 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. 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 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 [56]. 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 Estructurales venezolanos pertenecientes a: Consorcio Puente Maracaibo, Facultad de Ingeniería de LUZ y MOP. Sobre los problemas de evaluación, corrosión y rehabilitación se puede consultar la referencia [104].

- **Afectación de Puentes por Lluvias Pertinaces del año 2005.** Según la información que da Torres [102], 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. En la citada referencia de Torres, 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, (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”. Recuérdese que los primeros meses del año 2005 fueron de lluvias intensas en buena parte del país. 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 esta información. Se omite la mención a desbordamiento de ríos, inundaciones y pérdida de vías, derrumbes, interrupciones por socavación u otras causas. De acuerdo con MINFRA, el total de puentes afectados para el 15 de febrero era cercano a 30, aproximadamente la mitad del total señalado por Torres [102]. Efectivamente y según la prensa, con posterioridad al 15 de febrero se reportaron problemas en otros puentes.

3. ESTRATEGIA PREVENTIVA

3.1. Introducción

La casuística aquí presentada tiene, tal como se indicó al comienzo, varias vertientes. Estas se pueden agrupar en dos: (i) subestimación en la evaluación de las acciones externas, errores en el modelado, análisis o diseño, incluido el empleo de Normativas obsoletas,

todos ellos factores que, en caso de darse, afectan el dimensionamiento de elementos portantes; (ii) errores u omisiones gruesas durante la ejecución de algunas obras, así como efectos imprevistos de naturaleza accidental. Sin que puedan diferenciarse por una frontera muy nítida, el primer grupo está más relacionado a limitaciones del proyecto y el segundo a la ejecución.

3.2. Las Normas y Especificaciones

La estrategia preventiva con fines de Ingeniería para mitigar los efectos de fenómenos como los descritos en la **Sección 2**, se ha fundamentado principalmente en el cumplimiento de normativas y/o especificaciones. Por ejemplo, en el caso de las acciones sísmicas directas como son las vibraciones del terreno, las primeras Normas se promulgaron el año 1947; modificaciones sucesivas hasta el 2001 modernizaron considerablemente tales documentos gracias a la incorporación de nuevos conocimientos en múltiples disciplinas: sismología, geología, ingeniería estructural y materiales de construcción. Algo similar ocurrió con las acciones debidas a vientos huracanados en las construcciones; la metodología se ha tratado con un buen

nivel de detalle en la Norma COVENIN 2002 del año 1986 vigente, aún cuando el mapa de velocidades máximas del viento a nivel nacional es reconocidamente obsoleto desde hace años; otros organismos del estado han elaborado sus propios mapas de velocidades básicas del viento (**Nota 12**).

Sin embargo, es usual que en las Comisiones de Normas se persiga el balance entre costo y seguridad. Es decir, en los criterios adoptados de diseño, las acciones establecidas en las normas no son eventos extremos; son acciones asociadas a eventos que tienen una cierta probabilidad de ser excedidos durante la vida útil asignada a la obra. En la **Figura 2** se reproduce la percepción que sobre los riesgos de excedencia aceptados prevalecía a inicios de la primera década del siglo XXI. En abscisas se indica el período medio de retorno de los eventos de diseño y en ordenadas el período medio de eventos extremos; puntos que estén por encima de la bisectriz de esa figura son una medida del riesgo aceptado. Por ejemplo en el caso de las velocidades del viento establecidas en la Norma COVENIN 1986 citada más arriba, los valores de diseño en algunas regiones del país están subestimados a la luz de los conocimientos actuales sobre distribuciones de vientos extremos en esas regiones (**Nota 12**).

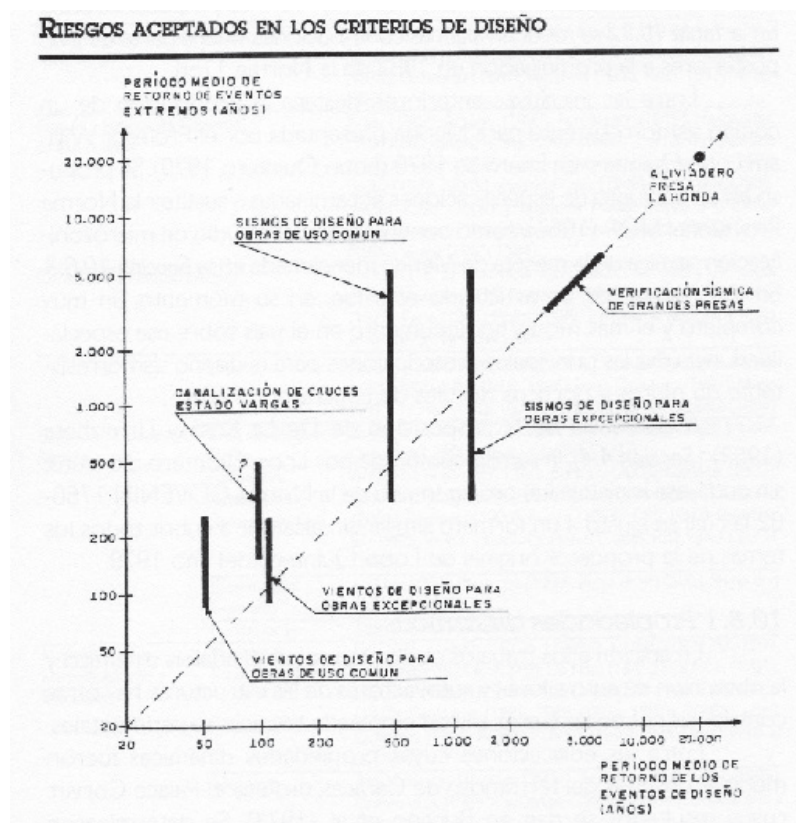


FIGURA 2.- Riesgos aceptados en los criterios de diseño (Fuente: [50], p. 137)

Por otro lado, y de acuerdo con la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), la verificación sísmica de obras de infraestructura como es el caso de los embalses, debe ser hecha para eventos extremos y de allí que los criterios de diseño estén representados la Figura 2 sobre la bisectriz de la misma.

3.2. Lecciones sobre Estrategia de Prevención y Mitigación

En la medida que el país se ha ido desarrollando y ha crecido el número y tipo de obras expuestas a diferentes tipos de amenazas -sean naturales o antrópicas- ha sido más evidente la necesidad de una más acertada cuantificación de las mismas. En la Sección 2 se han recogido algunos casos que ejemplifican lo anterior.

Esa cuantificación influye en tres tipos de decisiones donde han intervenido nuestros profesionales: (i) en la planificación urbana; (ii) en la ingeniería estructural y, por ende, en los documentos de tipo normativo, y; (iii) en la planificación de la defensa o protección civil. En lo que sigue se hará énfasis en las contribuciones y aspectos que se han recogido en la memoria sobre la *Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela*, en preparación.

Probablemente, las primeras estimaciones que fueron necesarias entre nuestros Ingenieros pioneros en el arte de la seguridad estructural, fueron aquellos que diseñaron y construyeron los puentes de nuestras primeras vías de comunicación en Caracas y hacia el interior del país. Tuvieron que tomar decisiones sobre posibles caudales y problemas de fundaciones en las pilas de los puentes, con muy poca o ninguna información previa. Igualmente, el proceso de prueba y error se manifestó en la construcción de rompeolas en el puerto de La Guaira; dado que la frecuencia de marejadas es mayor que las crecientes extremas de ríos o quebradas, la naturaleza se encargó muy rápidamente de poner a prueba los sistemas constructivos adoptados. El libro del ingeniero Bernardo Nouel: *Puerto de La Guaira: Historia, Vivencia y Visión* [77], es un testimonio de excepción muy bien documentado, en el cual se describe claramente el problema anterior. La inestabilidad de taludes en los cortes hechos para las vías férreas con las cuales contaba el país a fines del siglo XIX e inicios del XX, dieron lugar a frecuentes interrupciones en el servicio. Sin duda eventos aún menos frecuentes como son los sismos de diseño establecidos en las Normas modernas, es probable que en tiempos históricos solo hayan ocurrido en algunas áreas del país.

De modo que estas son materias de importancia en la estrategia preventiva de la Ingeniería Estructural, dado que, en general, el objetivo de los proyectos estructurales es minimizar la probabilidad de alcanzar estados indeseables. Se citan a continuación algunas de las primeras contribuciones de autoría venezolana que facilitaron la toma de decisiones dirigida hacia el fin antes anotado, siguiendo un orden cronológico; no se incluyen aquí, las acciones establecidas en documentos de carácter normativo.

Entre los primeros trabajos publicados sobre el tema anterior, es obligado anotar aquí el artículo de J. Muñoz Tébar, J.: 'La cartilla del Ingeniero', publicado en la *Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas*. Caracas 1910. Es preciso revisar este trabajo para indicar cuáles fueron las acciones externas que incluyó Muñoz Tebar y si fueron varias cartillas como aparece citado en alguna referencia. Sobre un tópico similar, el ingeniero Luís Vélez publicó en 1921 la 'Cartilla para el Cálculo de Puentes Colgantes Rígido(s)', contentiva de soluciones a complejos problemas que se presentaban en la construcción de estas estructuras sobre los grandes ríos del país.

A continuación destaca la pertinencia del trabajo del doctor Alberto Eladio Olivares (1935): 'Estudio sobre las cargas que pueden adoptarse en el cálculo de los puentes de carreteras en Venezuela', publicado en la *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 107, Caracas.

En 1940, el doctor Melchor Centeno Graü dio a conocer en Caracas el texto titulado: *Estudios sismológicos* [23]. Si bien su contenido incluía recomendaciones específicas para construcciones sismo-resistentes, acompañado de un muy completo catálogo sobre los sismos que habían afectado nuestro país en tiempos históricos, no parece haber influido mayormente en los profesionales que elaboraron las Normas sísmicas de esa época. La segunda edición, post mortem, del año 1969 ha sido base de otros trabajos posteriores al terremoto de Caracas de 1967.

En 1945 la firma de Ingenieros Consultores Pardo, Proctor, Freeman y Mueser proyectaron el Hospital Clínico y otros edificios de la Escuela de Medicina de la Ciudad Universitaria de Caracas. En la Memoria de ese proyecto, que en 1963 dio a la luz publica el doctor Edgard Pardo Stolk, las fuerzas cortantes debidas a sismos se determinaron empleando un espectro de respuesta anclado en 0.2 g: toda una novedad para esas fechas. La selección de esa acción sísmica se fundamentó en información foránea y no parece que, en su momento, hubiese trascendido en el medio profesional venezolano.

Una contribución pionera sobre las características del subsuelo en nuestra capital, dirigida al adecuado diseño de fundaciones, fue la compilación que publicaron en 1961 los ingenieros: hermanos Gustavo y Bernardo Pérez Guerra, conjuntamente con Hugo Pérez La Salvia. Se dan allí los resultados de trabajos sobre la exploración de fundaciones en el subsuelo de la Caracas Metropolitana; los autores mencionaron en la *Introducción* que tal información pudiera ser de cierta utilidad a ingenieros y constructores. Sobre la ejecución de fundaciones de edificios, la Dirección de Edificios del MOP publicó en 1966 las *Normas para la ejecución de fundaciones de edificios*, con arreglo a la ponencia que elaboró el ingeniero Pedro Tortosa Rodríguez; ese documento, acaso olvidado hoy en día, formalmente no ha sido derogado.

El terremoto de Caracas del año 1967 despertó el interés por los problemas asociados a sismos. El primer ejercicio conocido para determinar la función de distribución acumulada de probabilidades de no excedencia de sismos en la región de Caracas, fue publicado por el doctor Víctor Sardi Socorro bajo el título: 'Contribución al Estudio de la Frecuencia de los Sismos en Caracas', en el *Boletín de la Academia, de Ciencias, Físicas, Matemáticas y Naturales* en 1968. Para ello, el autor estableció una base de datos sísmicos sucedidos entre 1812 y 1967 con un muy limitado número de eventos con magnitud obtenida por vía instrumental.

En 1976 la Dirección General de Desarrollo Urbano del MOP, publicó en dos tomos los resultados del estudio sobre la 'Microzonificación Sísmica de la Meseta de Mérida'. Este se realizó durante un lapso de cuatro años por la Oficina Técnica Especial del Sismo (OTES), la cual contó durante 1975 y 1976 con el apoyo técnico y organizativo del Departamento de Ingeniería Sísmica de la Unidad de Investigación, que permitió adelantar un conjunto de investigaciones interdisciplinarias en: geofísica, fotogeología, riesgo sísmico, dinámica de suelos y comportamiento estructural [74]. Ese mismo año, los ingenieros proyectistas de las Torres de Oficinas del Parque Central, M. Paparoni y S. Holoma, publicaron los criterios de diseño adoptados en la estrategia preventiva contra sismos, para edificaciones no previstas en las normas sísmicas del momento [81].

En 1983 FUNVISIS publicó el primer *Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. Estado preliminar: mapa, glosario y comentarios*, elaborado por André Singer, Cristóbal Rojas y Miguel Lugo [98], miembros del Departamento de Ciencias de la Tierra de esa Fundación. En ese trabajo pionero, se presentó un inventario cartográfico de los sitios del país donde se tenía información sobre

importantes manifestaciones de inestabilidad geológica del suelo y subsuelo (deslizamientos, subsidencia, etc.), acompañados, en ciertos casos, de daños materiales considerables, e incluso de pérdidas de vidas. Se resaltaron los casos donde se consideró probable o segura la vinculación con algún evento sísmico.

En 1994, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) y la Cámara de Aseguradores de Venezuela, co-auspiciaron la preparación de una síntesis sobre los eventos naturales más importantes sucedidos en nuestro país bajo el título: *Venezuela. Amenazas Naturales: Terremotos, Maremotos y Huracanes*. Esta compilación fue encomendada al ingeniero José Grases como una contribución de Venezuela al Decenio Internacional para la Reducción de las Catástrofes Naturales, objetivo aprobado en el seno de la Asamblea de las Naciones Unidas para la década de los años 90. Como complemento a esa contribución, ACFIMAN compiló en 1997 un volumen de 662 páginas con las *Especificaciones y Criterios para el diseño sismo-resistente, empleados en Venezuela* [1].

No es este el escenario para referirnos a las acciones de rehabilitación de estructuras, tema sobre el cual el país cuenta con destacados especialistas. En adición a los trabajos ya citados, en la especialidad de puentes recientemente se han publicado experiencias novedosas [60], [19], [103]. (Nota 13).

4. CONCLUSIÓN

La casuística presentada en las Secciones 2.1 a 2.5 es una ventana por la cual los profesionales de la Ingeniería debemos mirar; contiene enseñanzas propias de la exposición de nuestras obras de ingeniería a las acciones de la naturaleza, de ocurrencia esencialmente no controlable: fenómenos hidrometeorológicos, sismos, inestabilidad de terrenos en pendiente y otros.

Por tanto, en el establecimiento de una estrategia preventiva a largo plazo hay tres reflexiones que, a vuelapluma, se desprenden de esta Memoria: (a) la detenida evaluación de casos que permita la validación de las Normativas vigentes; de allí se desprenderá la eventual conveniencia de su actualización como es el caso de la Norma COVENIN para el diseño de estructuras contra vientos extremos; (b) la identificación de aquellos aspectos que, por su naturaleza, escapan a las Normas y requieren estudios de sitio por profesionales especializados. Por ejemplo, los efectos conocidos de las inundaciones del último decenio; así como fue pre-

ciso hacerlo con los deslaves de Vargas en 1999, no se podrá perder de vista las inundaciones del río Limón en 1987, las anteriores que sufrió Vargas en 1951, así como todo el registro histórico que se pueda aprovechar; (c) el reconocimiento explícito de la naturaleza esencialmente incierta de la mayoría de los temas expuestos (Nota 14).

Esta última reflexión es el trasfondo que se desprende de documentos progresivamente exigidos en grandes proyectos de ingeniería. Solo para citar aspectos relacionados a la Ingeniería Estructural, en el dominio de la Industria Petrolera y Petroquímica, las precauciones establecidas para resguardar vidas y/o limitar los posibles efectos a los ecosistemas de ciertas amenazas naturales, en el proyecto de torres de explotación a ser construidas costa afuera, son de obligatorio cumplimiento exigentes documentos [6], [57] y otros. Se exige allí la comprobación explícita de las probabilidades anuales de ruina, las cuales no deben exceder valores prefijados en esos documentos. En el primero de los dos citados se establecen requerimientos de diseño en todas las áreas costeras de Venezuela (Nota 15).

5. AGRADECIMIENTO

El autor desea 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 Planes por los documentos testimoniales que generosamente nos ha facilitado.

En el progreso de la Ingeniería, la evaluación de casos como los que se dan en esta crónica han contribuido a una mejor estrategia preventiva. De allí que los trabajos de campo deben quedar en manos profesionales, para lograr que estén debidamente sustentados.

6. NOTAS

Nota 1.- Sobre este tema se han publicado dos volúmenes con una casuística Venezolana, bajo el mismo título: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*. El primero publicado en 2006 y el segundo en 2009.

Nota 2.- La descripción de los deslaves, sus consecuencias y las medidas preventivas pueden consultarse en dos obras enriquecedoras: [63] y [64].

Nota 3.- La identificación de tormentas tropicales y huracanes cuyas rutas han cruzado el oriente venezolano, así como el norte de Falcón se dan en Gutiérrez [54]; la información allí contenida no está adecuadamente representada en el mapa de velocidades básicas del viento de la Norma COVENIN 2003:1986, vigente. Los valores que se dan en el mapa de este documento normativo, se asocian a probabilidades de excedencia anual que no se corresponden con las que se infieren de distribuciones de valores extremos que incorporan la información dada por Gutierrez (op. cit).

Nota 4.- En la reconstrucción de la represa de El Guapo se reevaluaron los hidrogramas de crecidas extremas, sustento para el diseño del nuevo aliviadero de la nueva presa de El Guapo; su capacidad es del orden de 10 veces mayor que la del proyecto original [31].

Nota 5.- CADAFE y CVG-EDELCA cuentan con documentos de aplicación obligatoria por parte de los suplidores de equipos eléctricos, para la verificación sísmica de S/E con niveles de tensión de hasta 800 KV [16] y [36].

Nota 6.- Informaciones publicadas en la prensa de Caracas sobre el desempeño del dique de Játira, son contradictorias.

Nota 7.- El problema estudiado por Gaspar [46] requiere la mayor atención por parte del Estado. De entrada es necesario completar la estadística. De confirmarse que cerca del 40% de nuestra capacidad de almacenamiento se ha perdido, resulta urgente atender este problema.

Nota 8.- Más información en el texto: *Normas y Especificaciones para el Análisis, Diseño y Ejecución de Obras Civiles*. Tomo I [52].

Nota 9.- En octubre de 2010 se abrió al tránsito el puente *Mike O'Callaghan-Pat Tillman Memorial Bridge* adyacente a la presa de Hoover. Esta moderna estructura de concreto armado, de 1900 pies de largo, con su tablero a una altura de 890 pies sobre el río Colorado, fue construido siguiendo un procedimiento que guarda una estrecha similitud con el empleado para la ejecución del Viaducto N° 1 de la autopista Caracas-La Guaira, proyectado y construido

por el ingeniero Eugenio Freyssinet entre 1950 y 1952. Las etapas del proceso constructivo son muy similares a las que se emplearon en el citado viaducto, con la diferencia de que el más moderno requirió un tiempo mucho mayor para su ejecución debido a problemas con la acción del viento sobre los encofrados, que el ingeniero Freyssinet evitó [44].

Nota 10.- Sobre las medidas de prevención en áreas susceptibles a licuar consúltese [5]. Igualmente, se verificó que el borde libre del dique fuese lo suficientemente alto para retener los efectos tipo 'seiche', potencialmente generados en grandes masas de agua por el paso de ondas superficiales debidas a grandes sismos distantes; estos efectos fueron constatados en el lago de Maracaibo en 1868 [59] y 1900 [23].

Nota 11.- En [7] (vol. II, p 546), luego de la descripción del puente, se indicó: "Los trabajos se iniciaron en julio de 1874... parece que en su etapa final... el puente se derrumbó poco antes de su inauguración, incidente silenciado en las 'Memorias' y otros documentos públicos. Una falla del terreno fue señalada como la principal causa del fracaso".

Nota 12.- CANTV elaboró un mapa ad-hoc para evaluar la estabilidad de Torres de Microondas [18], para lo cual elaboró un mapa más realista que el de la Norma COVENIN 2003 vigente.

Nota 13.- En la especialidad de la ingeniería estructural es muy amplia la información sobre la interpretación de edificaciones dañadas por el sismo de 1967, así como la evaluación de intervenciones hechas para la adecuación de estructuras; tres referencias recientes son ilustrativas: [65], [67] y [106].

Nota 14.- Si se lograsen acuerdos con equipos de trabajo, por ejemplo con colegas de Colombia que han pasado por problemáticas comparables, se podría ampliar el sustento de nuestra estrategia preventiva. Acuerdos de esta naturaleza resultaron aleccionadores durante los años 70 en la especialidad de la Ingeniería Sismo-resistente.

Nota 15.- Resultados de estudios de peligrosidad sísmica hechos en los años 2009 y 2010, revelan que en las áreas estudiadas para la futura instalación de estructuras costa afuera en las cercanías de la Península de Paraguaná, los valores establecidos en las Normas ISO no son lo suficientemente conservadores.

7. REFERENCIAS

- [1] Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (1997a). *Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios empleados en Venezuela*. Biblioteca de la Academia, Vol. XXXIII; una contribución al Decenio para la Reducción de las Catástrofes Naturales. Coord.: J. Grases, Editorial Binev, Caracas, 662 p.
- [2] Acosta, L. y De Santis, F. (1997). Mapa inventario de licuación de suelos en Venezuela. *FUNVISIS, III Conf. Latino. de Ing. Geotéc. Jóvenes*. Caracas.
- [3] Allegret, J.R. (1997). Caminos y Carreteras. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. I, pp. 602-604.
- [4] Altez, R. (2005). El desastre de 1812 en Venezuela: sismos, vulnerabilidad y una patria no tan boba. Trabajo de Grado de Maestría, UCAB, 433p, Caracas.
- [5] 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.
- [6] API 1111 (2009). *Design Construction, Operation and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design)*. American Petroleum Institute, Washington, 67p + adenda.
- [7] Arcila Farias, E. (1961) *Historia de la Ingeniería en Venezuela*. Colegio de Ingenieros de Venezuela, Edit. Arte, 2Vol. Caracas.
- [8] 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.
- [9] Beauperthuy, L.D. (2010). Comunicación personal, del día 24 de septiembre.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] Buroz, E. (2010). Comunicación personal, diciembre, Caracas.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] C.G.R. (2000). Estudio hidrológico de la cuenca del río Guapo hasta el sitio de presa, estado Miranda. Informe al MARN. Caracas
- [16] CADAFE (1984) *Norma NS-P-420 para la calificación de equipos de sub-estaciones eléctricas*. Caracas.
- [17] 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.
- [18] 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/.
- [19] 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.
- [20] Caro, R. (2009). Relaciones Históricas. *Boletín N° 18, Academia Nacional de La Ingeniería y El Hábitat*, ISSN: 1317-6781. Caracas, PP 141-156.
- [21] Carrillo, J.M. y Grases, J. (2010). *Biografía el Dr. Alberto E. Olivares*. En prensa.
- [22] Centeno Graü, M. (1900). El terremoto de 1900. *La Linterna Mágica*, 15 de noviembre, p 1-2, Caracas.
- [23] Centeno Graü, M. (1940). *Estudios Sismológicos*. Caracas, primera edición. Segunda edición, 1969.
- [24] 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. /.
- [25] Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV) (1983). *Plan Frente a Contingencias*. Caracas.
- [26] Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo (1968). *Primera fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967. Edificios derrumbados*. Ministerio de Obras Públicas, 3 vol.: A, B y C., Caracas.
- [27] Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo (1978). *Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas, el 29 de Julio de 1967*. FUNVISIS, 2 Vol., Caracas.
- [28] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) (2001). *Edificaciones Sismorresistentes: Norma COVENIN 1756*, Fondonorma. Caracas, Articulado 71p + Comentario 123p + referencias + índice analítico.
- [29] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) (2006). *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto estructural*. COVENIN 1753, Fondonorma, Caracas, Articulado + Comentarios.
- [30] 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.
- [31] Córdova, J.R. y González S., M. (2006). Estimación de hidrogramas de crecidas extremas. En: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. I, Cap. III, p. 57-74, Consulibris, ISBN 980-12-2289-1, Caracas.
- [32] 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.
- [33] De Santis, F. y Audemard, F. (1989). Manifestaciones de "lateral spread" en el delta lacustre de Güigüe 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.
- [34] 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.

- [35] 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/.
- [36] Edelca (1991). *Especificaciones técnicas para sub-estaciones en zonas sísmicas*. Especificaciones ETGS/PAS-001, Caracas. /Actualizadas en 1998/.
- [37] El terremoto de 1900 (1965). *Boletín Archivo Hist. de Miraflores*, VI: #34, pp. 149-186.
- [38] Ernst, A. (1878). 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./.
- [39] 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.
- [40] Fiedler, G. (1961). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. *Memorias III Con. Geol. Venez.*, Tomo IV, 1791-1810, Caracas.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] Franquiz Jimenez J. (1901). M. *Un pueblo en ruinas. Episodios del terremoto en Guatire*.
- [44] Freyssinet, E. (1953). Largest concrete spans of the Americas. Three monumental bridges built in Venezuela. *Civil Engineering*, March, 41-44.
- [45] 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.
- [46] Gaspar, J. (2009). Sedimentación de embalses en Venezuela. Capítulo VIII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- [47] Gómez RODRIGUEZ, A.F. (1983). *El huracán de 1933*. Fundación Neoespartana de Cultura. Colección 'Madre Perla'. Tipografía Rodara, Santa Ana del Norte, 200 p.
- [48] 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.
- [49] Grases, J. (1994). *Terremotos destructores del Caribe*. UNESCO-ORCYT, Imp. A. Barreiro, ISBN 92-9089-044-4, Montevideo, 132 p.
- [50] Grases, J. (2002). *Introducción a la evaluación de la amenaza sísmica en Venezuela. Acciones de mitigación*. Fundación Pedro Grases, ISBN: 980-07-8393-8, Org. Gráficas Capriles, Caracas, 249 p.
- [51] 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.
- [52] Grases, J. y Gutiérrez, A. edit. (2004). *Normas y Especificaciones para el Análisis, Diseño y Ejecución de Obras Civiles*. Tomo I, Estructuras, Acad. de Cienc, Fís., Mat. y Nat. Y Acad. Nac. de la Ing. y el Hábit., Vol XL, If 783 20046202909, Caracas, 718 p.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] Harwich, V., N. (1997). Ferrocarriles. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. II, pp. 345-349, Caracas.
- [56] 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.

- [57] ISO 19900 (2002). *Petroleum and Natural Gas Industries. General Requirements for Offshore Structures*. International Standard, Geneva 20.
- [58] Jiménez, G. (1911). Los ferrocarriles de Venezuela. *Revista Técnica del MOP*, diciembre N°12, p 562.
- [59] 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/.
- [60] Lobo Quintero, W. (1986). *Norma venezolana para el diseño sísmo-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)/.
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] 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.
- [64] 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.
- [65] López S., O.A. (2008). *Protección de las Escuelas contra Terremotos*. Trabajo de Incorporación, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Julio, Caracas.
- [66] Maglione di G., P. (2007). *Patología Estructural*, UCAB, julio, Caracas.
- [67] Maglione di G., P. (2010). Evaluación de la respuesta sísmica de un edificio de 21 niveles durante el sismo de Caracas del 29-07-1967 y revisión de su estructura reforzada el año 1968. Trabajo especial para optar al título de Esp. en Ing. Estr., Fac. de Ing., publicado en Revista Tekhne, UCAB, N° 14-2011, pp. 19-39.
- [68] Martínez, 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/.
- [69] 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.
- [70] Maza Zabala, D.F. (1951). Las avenidas de las aguas. Diario: *El Nacional*, 22 de febrero de 1951.
- [71] 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.
- [72] Mop (1947). *Normas para el Cálculo de Edificios*. Dirección de Edificios e Instalaciones, Imprenta Nacional, Caracas.
- [73] Mop (1955). *Normas para el Cálculo de Edificios, 1955* Dirección de Edificios e Instalaciones, Tipografía Italiana, Caracas, pp. 164-171.
- [74] Mop (1967). *Norma provisional para Construcciones Antisísmicas*. Caracas, 18 p + mapa.
- [75] Moquet A., Beltran C., Lugo M., Rodriguez J.A. y Singer A. (1996). Seismological interpretation of the historical data related to the 1929 Cumaná earthquake, Venezuela. *Third ISAG, St. Malo*, Sept. P 203-206. /véase también: *Segundo Coll. Micr. Sísm.* 11-14 Junio 1995, Cumaná/.
- [76] Morales, G. J. (2009). El despertar de una nación, la industria siderúrgica venezolana: su impacto en la economía nacional: 1953-2007. En: *Entre Siglo y Siglo*, Décimo Aniversario de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Editorial Ateproca, ISBN 978-980-7106-04-7. Caracas, p 169-214.

- [77] Nouel, C., B. (1991)^{TC}. *Puerto de La Guaira: Historia, Vivencia y Visión*. Unión Offset, ISBN 980-07-0662-3. Caracas, 96 p.
- [78] 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.
- [79] Paige S. (1930). The Earthquake at Cumaná, Venezuela, January 17, 1929. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 20:1, 1-10.
- [80] 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.
- [81] 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.
- [82] 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.
- [83] 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.
- [84] 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.
- [85] Ramirez, J. E. s.j. (1975a). *Historia de los Terremotos en Colombia* (segunda edición, aumentada y corregida de la primera de 1969). Inst. Geog. Agustín Codazzi, Santafé de Bogotá, 250p.
- [86] Ramirez, J.E. s.j. (1975b). *El terremoto de Cúcuta cien años después (18-05-1875; 18-05-1975)*. Edit, Desarrollo, Bogotá, 63p.
- [87] 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.
- [88] Rangel S., A. (2006). Desalojo preventivo por deslizamiento. Caso Barrio Santa Ana, Antímano, Caracas. In: Capítulo XII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. I, pp. 209-226. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- [89] Röhl, E. (1945). Climatología en Venezuela. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. Año IX, N° 27, 169-243, Caracas.
- [90] 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.
- [91] 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.
- [92] Sardi, V. (1959). Gasto máximo de los ríos y quebradas del Litoral Central, *Revista CIV*, # 275, Caracas, Febrero, pp. 14-17.
- [93] Sarría A. (1986). *Enseñanzas derivadas de los estudios de las misiones pos-terremoto enviadas por UNESCO o por CERESIS-UNESCO*. Ceresis, Lima, 133 p.
- [94] Schubert, C. (1988). Neotectonics of La Victoria fault zone, north-central Venezuela. *Annales Tectonicae*, vol. II, N°1:58-66.
- [95] 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/.
- [96] 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.
- [97] 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.
- [98] 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).
- [99] Suarez V., L.M. (2002). *Incidentes en las Presas de Venezuela. Problemas, soluciones y lecciones*. ISBN-07-8170-6, Ed. Arte, Caracas, 29 capítulos.
- [100] Suarez V., L.M. (2009). Lecciones aprendidas de los incidentes en las presas de Venezuela. In:

- Capítulo XXI de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, vol. I, pp 363-380. Consulibris 83, ISBN: 980-12-2289-1, Caracas.
- [101] Tamayo, F. (1941). Exploraciones botánicas en la Península de Paraguaná, estado Falcón. *Boletín de la Sociedad de Ciencias Naturales*. N° 47, Caracas.
- [102] 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.
- [103] 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.
- [104] 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.
- [105] 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).
- [106] 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.
- [107] 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.
- [108] Vincentelli, A. (1999). *Mis anécdotas*. Edit. Noel Kingsley, Caracas, 277p.
- [109] Zawisza, L. (1980). Alberto Lutowski. Contribución al conocimiento de la Ingeniería Venezolana del siglo XIX. Ministerio de la Defensa. Caracas 146 p + láminas.
- [110] 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)/.

