

CAPÍTULO VII

LA INGENIERÍA SISMO-RESISTENTE

José Grases, Arnaldo Gutiérrez y Rafael Salas J.

“La observación constante después de los grandes terremotos es la más segura guía para las construcciones posteriores ...la enseñanza objetiva se basa en las experiencias adquiridas en el examen y estudio de las ruinas después de un terremoto”.
Centeno Graü (1940a, Cap. IX)

VII.1.- INTRODUCCIÓN GENERAL

Concluida la organización de este **Capítulo**, se constata un entrecruce de cuatro temáticas, o secuencias de sucesos e iniciativas, a lo largo de los últimos 70 años que abarca esta historia. Estas son: (i) los eventos sísmicos y sus lecciones; (ii) las normativas empleadas y sus actualizaciones; (iii) la toma de conciencia y profesionalización de esa nueva disciplina; (iv) la trascendental influencia de la Ingeniería Sísmica Forense, la cual muy rápidamente alcanzó un ámbito mundial. Tomando en consideración que el objetivo es un recuento de hechos y vivencias venezolanas, la última temática anotada solo será mencionada en casos puntuales.

Visto en perspectiva, por sus características particulares la evolución y desarrollo de esta disciplina -así como probablemente la de muchas otras- es el resultado de ese entrecruce de eventos naturales, avances y retrocesos en algunas decisiones e iniciativas ingeniosas, todo lo cual ha ido conformando una nueva especialidad de la Ingeniería. Esta se identifica en América del norte como ‘Sesimological ó Earthquake Engineering’ y en Inglaterra como ‘Engineering Seismology’; inicialmente, entre nosotros se denominaba ‘Ingeniería Sísmica’ ó ‘Ingeniería Antisísmica’, y, más recientemente, ‘Ingeniería Sismo-resistente’.

Señalada por muchos como una nueva disciplina, en un país como Venezuela donde algo más de 2/3 de su población habita en áreas bajo la amenaza de los sismos, esta especialidad constituye una parte importante de la Ingeniería Estructural. De hecho, en la enseñanza de la Ingeniería Civil, los efectos de fenómenos naturales catastróficos como fueron: el terremoto de Caracas del año 1967, los deslaves de Vargas durante 1999 o la ruina del viaducto N°1 de la autopista Caracas-La Guaira en marzo de 2006, han influido marcadamente en la estrategia preventiva que se imparte en nuestras universidades.

En el caso particular de los sismos, en adición a la obligada nota histórica que se presenta más adelante, debe dejarse constancia desde un comienzo que en ningún momento los ingenieros han intentado incursionar en los dominios de la Sismología, así como tampoco se ha dado el caso inverso. La mejor ilustración de la naturaleza novísima de esta especialidad, la señaló el Profesor Charles Richter en su obra, aún vigente: *Elementary Seismology*, publicada en 1958. Luego de dar unas recomendaciones muy generales sobre algunas precauciones constructivas reconoció allí que ese tema: ‘...debe ser escrito por otra

mano' (Richter, 1958, pp. 645-649). Así fue: tres años después, en 1961, la Portland and Cement Association (PCA) auspició el texto elaborado por tres destacados profesionales: J.A. Blume, N.N. Newark y L.H. Corning. Los autores de ese texto, titulado *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*, señalaron en la sección de agradecimientos que en su elaboración: "... se empleó prolijamente el trabajo de muchos autores, investigadores y Comités de organizaciones técnicas".

El libro de la PCA se hizo del conocimiento del gremio de Ingenieros Estructurales con posterioridad al terremoto de México de 1957. Este sismo es citado en el libro que aquí se comenta, visto el excelente comportamiento de la Torre Latinoamericana de ciudad de México, diseño en el cual participó el Profesor Newmark. Un año antes de su edición en 1961, sucedieron dos terremotos destructores: el de Agadir, Marruecos, en febrero de 1960, y de Valdivia, Chile, el mayor del siglo XX en mayo de ese año.

Precisamente esos tres eventos dispararon las alarmas en los organismos internacionales de asistencia y dieron inicio al envío de Misiones Técnicas Multinacionales para recabar más información sobre las lecciones de los sismos. Si bien el citado texto de la PCA ya era conocido entre algunos profesionales del país, que se sepa, no alcanzó a trascender en nuestro medio universitario antes del terremoto de 1967. Se reconoce como primer texto moderno para el diseño sismo-resistente de estructuras de concreto armado de múltiples niveles.

Un breve recuento cronológico sobre algunos de los eventos destructores que afectaron países en diferentes continentes del planeta con anterioridad al terremoto de Caracas de julio de 1967 se da en la **Sección VII.12.3**.

En el último medio siglo son incontables los informes publicados por misiones enviadas a centenares de áreas afectadas por sismos destructores. En Venezuela, FUNVISIS y algunas universidades han hecho una contribución importante acopiando información sobre el desempeño de edificaciones, instalaciones y efectos locales, inmediatamente después de sismos intensos. Como **Anexo D** de esta Memoria, se acompaña una *Compilación de Informes de Campo y Trabajos Relacionados a Sismos Venezolanos*; podrían ser de utilidad para los estudiosos del tema.

VII.2.- PRIMEROS TRABAJOS DE CAMPO EN VENEZUELA

Desde el siglo XVI se conocen descripciones sobre los efectos de sismos en Venezuela, con diferente grado de confiabilidad. Por la importancia de sus efectos en las localidades afectadas, los terremotos del 26 de marzo de 1812 han dado lugar a varias contribuciones escritas y trabajos interpretativos, donde la problemática política del momento influyó en los efectos descritos (**Nota 1**). Estas narraciones se extienden hasta el presente, con informes de campo realizados por profesionales de la Ingeniería.

Las descripciones sobre los efectos solo dan una idea general sobre la magnitud y ubicación del área epicentral de un determinado sismo. Por ejemplo, uno de los trabajos pioneros hechos en el país fue la investigación 'in situ' emprendida por el profesor Adolfo Ernst como consecuencia del sismo del 12 de Abril de 1878 que arruinó a Cúa, estado Miranda. Este trabajo, hecho con el enfoque científico que podía darle una persona con las inquietudes de Ernst, basado en las observaciones sobre el desempeño de las construcciones, así como en manifestaciones superficiales del terreno como consecuencia del sismo, vistas a distancia no aseguran valores confiables de magnitud y foco. Con todo, las notas que recabó a lo largo de ese trabajo pionero, fueron publicadas en Venezuela y en revistas del exterior (Ernst, 1878a; 1878b). Otros que siguieron sus pasos fueron los

trabajos publicados por W. Sievers sobre el gran terremoto de los Andes de 1894 (Sievers und Friederichsen, 1895) y el de Cabo Codera en 1900, evento este último sobre el cual Centeno Graü publicó el primer mapa de isosistas hecho en Venezuela (Centeno Graü, 1900; 1940a) y estudiado también por el geólogo Sievers (Sievers, 1905).

Sin embargo, en la sismología venezolana sí ha trascendido el hecho de que el sismo del 29 de Octubre de 1900, con epicentro frente a Cabo Codera, quedase registrado en la primera red sismográfica de cobertura global, instalada por John Milne en los últimos años del siglo XIX. Este recibía informes sobre los registros obtenidos en los 5 continentes, en el laboratorio situado en la isla de Whight, sur de Gran Bretaña. Con base a esos registros, ese terremoto, destructor en Guarenas-Guatire y áreas de Barlovento, figuró durante más de medio siglo con magnitud 8.4 en diversos catálogos (por ejemplo Richter, 1958 p. 710); una revisión posterior de esos sismogramas hecha por Fiedler en 1988 rebajó la magnitud de ese sismo al rango 7.6-7.8 (Fiedler, 1988).

El citado mapa de isosistas publicado por el ingeniero Centeno Graü pocos días después del terremoto de 1900 (Centeno Graü, 1900), con muy pocos datos en la mano y con la colaboración del ingeniero Luis Muñoz Tébar, ubicó el epicentro costa afuera, frente a cabo Codera; las coordenadas del epicentro obtenido resultaron ser muy cercanas a las que años después publicó John Milne (**Figura 2**). Por su forma de círculos concéntricos, su mapa de isosistas fue menos realista que el publicado en Austria por W. Sievers el año 1905, basado exclusivamente en información epistolar. Este geólogo situó el epicentro en las cercanías de las localidades más afectadas, como fueron Guarenas-Guatire y el ferrocarril de Carenero destruido por fenómenos de licuefacción del terreno; no obstante, su forma elíptica es consistente con mecanismos focales propios de la tectónica que hoy conocemos sobre esa parte del país (Sievers, 1905; **Figura 3**).

La sistematización de los trabajos de campo fue una de las responsabilidades asumidas por FUNVISIS cuando fue creada en 1972.

VII.3.- PRIMER ANÁLISIS DE UN REGISTRO SÍSMICO

Los efectos del sismo del 17 de enero de 1929 en Cumaná y sus alrededores, fueron estudiados por Centeno Graü y comparados con los de sismos anteriores que afectaron la región. Tratado en diferentes partes de su libro, Centeno analiza el registro tele-sísmico de este evento obtenido en Harvard (Centeno, 1940a). Por primera vez, un registro sismográfico es analizado en el país tomando en consideración los tiempos de llegada de diferentes ondas, sus velocidades de propagación y las distancias geográficas. No se pronunció sobre la magnitud de este evento, la cual fue dada como 6.9 por el International Seismological Centre (ISC) y, más recientemente, rebajada a 6.3 según proposición de Moquet et al. (1996). Según Méndez (2011b, p. 64) este evento generó inquietudes a ingenieros estructurales; cita una Tesis Doctoral inédita, presentada en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Romero, A., 2002).

Centeno analizó el mencionado registro, el cual es reproducido en su libro, y se ocupó de calcular la distancia Harvard-Cumaná con base en la velocidad de propagación de ondas, logrando una aceptable aproximación con la distancia geográfica. Como se verá, no fue sino hasta la llegada de Günther Fiedler en los años 50 cuando se inició la interpretación sistemática de los registros sismográficos.

VII.4.- INICIO DE LOS REGISTROS SISMOGRÁFICOS E INTERPRETACIÓN DE LOS MISMOS

Durante el Guzmanato (1870-1888), se designó una junta presidida por el licenciado Agustín Aveledo (1837-1926) quien ejerció la presidencia del Colegio de Ingenieros de Venezuela entre 1869 y 1881. Allí inició mediciones meteorológicas, tarea en la cual colaboró activamente Alejandro Ibarra Blanco (1813-1880), pionero en el país por su interés en los temas meteorológicos, climáticos y sísmicos. Aveledo puso en funcionamiento el primer observatorio nacional Astronómico y Meteorológico de Caracas, que años después y trasladado a Loma Quintana pasó a ser el hoy conocido como Cajigal, el cual quedó instalado a finales de 1888 (**Nota 2**).

De acuerdo con Olivares (1997), después del sismo de Caracas del 29 de Octubre de 1900 el Gobierno se interesó en obtener registros instrumentales de los movimientos sísmicos del país. Para ello se adquirieron e instalaron sismógrafos en ese Observatorio. Explica Olivares que en el informe del Ministro de Instrucción al Congreso en 1902, este dio fe sobre el buen funcionamiento de dichos equipos, los cuales se encontraban a cargo del ingeniero Luis Ugüeto. En las memorias del Ministerio de Instrucción (1902-1915) se puede seguir el acopio de observaciones sismológicas recogidas por Ugüeto (Soto, 1931). En su informe de 1902, sugirió la instalación de más equipos de registro: “...en las ciudades de la República más azotadas por las convulsiones sísmicas”; y, en su informe de 1908, con toda razón insistió en esa conveniencia cuando afirmó que: “...las observaciones aisladas presentan menos interés que las de una red vasta”.

En 1931 el Profesor Henry Pittier (1857-1950), quien se había radicado en Venezuela desde el año 1919, fue invitado a ocupar la dirección del Observatorio Cajigal. Este distinguido botánico de origen suizo, había dirigido el Instituto Físico-Geográfico de Costa Rica y se ocupó de los efectos del sismo destructor de San José sucedido en Diciembre de 1888 (Márquez, 1968). Si bien logró que el Gobierno Venezolano adquiriese nuevos instrumentos para el Observatorio Cajigal, sus críticas le hicieron entrar en conflicto con el Colegio de Ingenieros y, en 1933, dejó el cargo (Pérez Marcheli, 1997). De nuevo la dirección pasó a las manos del ingeniero Luis Ugüeto quien la ejerció hasta el fin de sus días en 1936. A partir de ese momento, el doctor Eduardo Röhl, subdirector, pasó a ser responsable del Observatorio (Olivares, 1986, pp. 25-83).

Entre 1941 y 1959 el doctor Röhl estuvo a cargo de la dirección del Observatorio; las observaciones allí obtenidas, quedaron registradas en las memorias del Ministerio de Educación desde 1942. En 1955, Röhl invitó al joven sismólogo Günther Fielder a incorporarse al Cajigal. Gracias a este, a partir de febrero de 1959 se publicaron los *Boletines Sismológicos del Observatorio Cajigal*; estos se preparaban en estenciles de tinta y mantuvieron rigurosa continuidad hasta mediados del año 1972.

Si bien el ingeniero Melchor Centeno Graü fue pionero en la tarea de catalogar sistemáticamente y describir los sismos pasados, Günther Fiedler lo fue en lo que puede denominarse la evaluación de los grandes sismos históricos, con base en la información de la primera edición del libro de Centeno. Su destreza en ese tipo de evaluaciones no sorprende pues su tesis de grado presentada en Stuttgart, poco antes de venir a Venezuela, fue sobre la actividad sísmica del suroccidente de Alemania entre 1800 y 1950 (Fiedler, 1954). De modo que los trabajos que presentó en el III Congreso Venezolano de Geología celebrado en Caracas en 1959, memorias publicadas en 1961, fueron elementos de referencia durante años en los estudios de peligrosidad sísmica en el país (**Nota 3**). Con toda seguridad Fiedler compartió información e inquietudes con el padre Jesús E. Ramírez (S.J.), Director del Observatorio Geofísico de Los Andes Colombianos en esa época, quien, además de publicar un muy completo catálogo sobre los sismos Colombianos (Ramírez,

1975a), evaluó sismos de interés en áreas fronterizas como fue el de Cúcuta de 1875 (Ramírez, 1975b).

Los trabajos de Fiedler le permitieron ir preparando un mapa de zonificación sísmica más realista que el de la norma MOP de 1955; para ello contó con: (i) la información sobre grandes sismos venezolanos desde 1766; (ii) el respaldo de focos locales determinados instrumentalmente por él y, además; (iii) con las primeras evaluaciones de fallas activas en el país que le fueron señaladas por el doctor Carlos Schubert. Fue así como inmediatamente después del sismo de 1967, se incorporó a la Norma Provisional del MOP el año 1967, aprobada pocos meses después del sismo, un mapa de zonificación sísmica con un sustento más amplio que los empleados en las normativas del MOP anteriores.

VII.4.1.- Red Sismológica Nacional

Comenzando la primera década del siglo XXI, FUNVISIS instaló la Red Sismológica Nacional. Esta consta de 35 estaciones de registro Banda Ancha, distribuidos según las zonas de mayor actividad del país. Adicionalmente cuenta con Redes Locales que complementan información de carácter local. Las que están en operación son: (i) la Red Sismológica de Los Andes Venezolanos (RedSAV); (ii) el Centro de Sismología de la Universidad de Oriente (CSUDO); (iii) la Red de la Electrificación del Caroní (CVG-EDELCA); (iv) la Red Sismológica del Complejo Uribante-Caparo (DESURCA). La red de PDVSA se encuentra en fase de actualización, y las redes de la Universidad Centro-occidental Lisandro Alvarado y la de la Universidad de Carabobo están en formación (visita mayo 2011 a: www.FUNVISIS.gob.ve; Palma, 2011)

VII.5.- CATÁLOGOS DE SISMOS VENEZOLANOS

Desde fines del siglo XIX se conocen compilaciones sobre sismos que en tiempos históricos afectaron nuestro territorio desde 1530 en adelante (Ibarra, 1862; Landaeta Rosales, 1889; Aguerrevere, 1925; Febres Cordero, 1929; Soto, 1931; Centeno Graü, 1940a). Destaca entre ellas la del doctor Melchor Centeno Graü (1867–1949) publicada por vez primera en 1940 y en una segunda edición, post-mortem, que incluyó adiciones al texto mencionado cuando llegó el fin de sus días (Centeno, 1969) (**Nota 4**).

Más recientemente se ha enriquecido el estudio y catalogación de sismos pasados en forma sistemática; la interpretación de los efectos conocidos y, en los más recientes, los registros instrumentales conforman una especialidad: la Sismología Histórica, la cual se trata en la **Sección 7** de este **Capítulo**. En algunos casos las narraciones conocidas se han complementado con datos provenientes de nuevas especialidades como la paleosismología y trabajos de campo. Como se señaló en la **Sección 1** de este **Capítulo**, en el **Anexo D** de este texto, se acompaña la: *Compilación de Informes de Campo y Trabajos Relacionados a Sismos Venezolanos*.

VII.6.- PRIMERAS RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

En adición a la compilación de las descripciones de sismos, en el país se publicaron algunos artículos con recomendaciones generales y precauciones constructivas a seguir para asegurar la resistencia a eventuales sismos, particularmente dirigidas a edificaciones de una planta (Stolk, 1932; Vizcarrondo, 1934; Centeno Graü, 1940b; Kulik, 1947; Ferulano, 1947). No se tiene conocimiento de que estas propuestas publicadas hasta finales de los

años 40 hubiesen llegado a tener influencia práctica y tampoco se reflejan en las normas sísmicas del momento (**Nota 4A**).

VII.7.- LA SISMOLOGÍA HISTÓRICA

VII.7.1.- Introducción

El análisis de los efectos conocidos de fenómenos naturales pasados, en este caso de sismos que han trascendido por sus efectos, así como el surgimiento a mediados del siglo XX de la que ya es citada como 'Ingeniería Sísmica Forense', es un insustituible fundamento en el desarrollo de la Ingeniería Preventiva. Sin duda, esta aseveración no representa novedad alguna e incluso resulta fácil identificar la secuencia que va desde la constatación de efectos no deseados hasta los correspondientes procedimientos preventivos, ocasionalmente globalizables, algunos de ellos incorporados en las Normas (Grases, 2003b; Altez et al., 2004).

En esta **Sección** también se desea destacar el carácter aún sesgado de Normas y Especificaciones -las herramientas de la prevención que se emplean en la Ingeniería Estructural- que tienden a limitarse a la acción vibratoria del terreno generada por los sismos. Tal orientación deja de lado múltiples acciones sísmicas de naturaleza temporal o permanente que han sido el origen de pérdidas catastróficas tanto humanas como materiales en el pasado. De modo que, sin menoscabar la muy importante e indispensable contribución de investigaciones teóricas y experimentales sobre la respuesta dinámica de las estructuras, entre los primeros pasos que deben darse para alcanzar una estrategia preventiva integral está el mirar de nuevo en los anaqueles de las bibliotecas, donde reposan insustituibles evidencias que ofrece la sismología histórica; podrán identificarse así y evaluarse mejor, amenazas sísmicas ignoradas o mal comprendidas hasta hoy. Lo recién anotado es ilustrado y sustentado por la casuística de la historia sísmica de Venezuela.

Richter (1958, pp. 33-34), atribuye a Mallet los primeros trabajos de campo sistemáticos de los cuales ha quedado constancia escrita. Obviamente que son incontables las descripciones sobre los efectos de sismos sucedidos en tiempos históricos, la extensión de sus efectos, eventuales sismos premonitores y réplicas, y otros datos que permiten tener una idea aproximada de la magnitud del evento, su área epicentral y su trascendencia. No obstante, el acucioso trabajo de Mallet con ocasión del gran terremoto de Nápoles en 1857, que Richter califica como: "*Mallet and his earthquake*", señaló un camino que ha sido retomado, ahora de modo sistemático, un siglo después (Mallet, 1862) (**Nota 5**). Se destaca en esta **Sección** observaciones que, provenientes de esas inspecciones de campo, han trascendido en Normas y Especificaciones; otras, aún cuando observadas repetidamente y requieren medidas preventivas, siguen ignoradas en tales documentos (Grases, 2010).

VII.7.2.- Zonas Sísmicas

Las primeras aplicaciones de la sismología histórica fueron los mapas de zonificación sísmica. El primer mapa conocido sobre la distribución de sismos en el planeta fue resultado de un extenso trabajo realizado por Mallet y su hijo, basados en un catálogo compilado por ellos que cubrió terremotos sucedidos desde 1606 A.C. hasta 1850 D.C. (Mallet and Mallet, 1852-1854). Pioneros indiscutibles en la labor de cartografiar las zonas sísmicas del planeta, este mapa tuvo limitaciones en particular por el hecho de que la versión publicada está a una escala aproximada $1:250 \times 10^6$, con lo cual se pierde mucho detalle; aún así, las áreas epicentrales a lo largo de Venezuela se aprecian claramente.

Visto con los conocimientos de hoy en día, en ese mapa elaborado hace siglo y medio se identifican claramente los bordes de las hoy reconocidas 'placas tectónicas' y guardan una aceptable concordancia con las que se infieren de mapas publicados un siglo después, basados en las primeras redes planetarias de instrumentos de registro de sismos (véase por ejemplo: Barazangi and Dorman, 1969). Es fácil identificar allí la placa del Caribe, cuyo borde sur es de particular interés para nosotros.

Fue Montessus de Ballore quien publicó en México el primer mapa de zonas sísmicas de Venezuela, en los últimos años del siglo XIX (Montessus, 1898) (**Nota 6**). Entre los múltiples comentarios que se desprenden de esa síntesis pionera de la sismicidad venezolana, hay uno de tipo preventivo que es la inclusión de la región de Caracas entre las áreas de mayor peligro sísmico del país. Esto fue reconocido en los mapas de las normas de diseño cerca de 70 años después, con ocasión de la promulgación de la Norma Provisional del MOP después del terremoto de 1967.

VII.7.3.- Neotectónica

Hace ya un buen número de años se estableció la diferenciación entre los sismos 'volcánicos' y los 'tectónicos', así como el potencial desplazamiento permanente de fallas activas. En 1969, el doctor Fiedler publicó un mapa de epicentros de Venezuela, con indicación de las principales fallas activas conocidas para ese momento (Fiedler, 1969a). Años después, el doctor Jean Pierre Soulas presentó una síntesis de lo que se sabía para esas fechas sobre la tectónica activa del país (Soulas, 1986). En 1993, el geólogo Carlos Beltrán complementó con nuevos aportes esencialmente de múltiples investigadores venezolanos una muy útil compilación en mapa escala 1:2.000.000 (FUNVISIS, 1993).

Los ingenieros han seguido con el mayor interés los nuevos aportes de la paleosismología, pues su estudio ha contribuido a una mejor evaluación de la neotectónica (Singer y Audemard, 1997). Destaca en este sentido la síntesis presentada por Audemard et al (2000) según la cual en un modelo simplificado, la placa tectónica del Caribe se estaría desplazando a una tasa media anual orden de 10 mm/año hacia el Este respecto a la de Sudamérica. Este modelo no explica todos los accidentes tectónicos conocidos pues hay regiones, como por ejemplo el llamado 'triángulo' formado por las falla de Valera - Boconó - Oca Ancón, que requieren estudios adicionales, así como tectonismo activo submarino. La velocidad de desplazamiento aludida está basada en evidencias tectónicas que se retrotraen a varios milenios. Difiere de los resultados muy recientes obtenidos por procedimientos de observación satelital (GPS) con una extensión de observación en el tiempo varios fractales menor y que conduce a una velocidad dos veces mayor, como son los datos reportados por Pérez et al. (2001a; 2001b) (**Nota 7**).

En cualquier caso, en las Normas y Especificaciones vigentes se establece que no se debe construir sobre la traza de fallas activas. Los necesarios estudios de sitio para saber donde estas últimas están ubicadas, puede considerarse que desde fines de los años 70 son materia rutinaria en los estudios a nivel de anteproyecto de los grandes proyectos de ingeniería.

VII.7.4.- Acciones Sísmicas Esperadas

Tomando en consideración: (a) que una parte de nuestro territorio - en el cual se asienta la capital y otras zonas densamente desarrolladas- forma parte de la franja de interacción de dos placas tectónicas y; (b) que no hay razones para que en horizontes de unos pocos siglos cambie la tasa media de ocurrencia de terremotos en la región, resulta

procedente revisar si nuestra estrategia de prevención sísmica es adecuada. Para ello se han sintetizado aquí evidencias de acciones sísmicas que en tiempos históricos han afectado el país, organizadas en la forma que se describe en la **Tabla VII.1**.

TABLA VII.1
ACCIONES SÍSMICAS A CONSIDERAR
CON FINES PREVENTIVOS

	DIRECTAS	INDIRECTAS
TEMPORALES	Vibraciones del terreno	Maremotos. Seiches. Licuefacción
PERMANENTES	Desplazamientos de fallas activas	Deslizamientos. Represamiento de ríos

VII.7.4.1 Acciones Sísmicas Directas, Temporales: Vibraciones del Terreno

A finales del siglo XIX, los Ingenieros Estructurales simulaban por medio de fuerzas horizontales las solicitaciones que las vibraciones del terreno inducen en las edificaciones (**Nota 8**). Dos ejemplos americanos son ocasionalmente señalados sobre cómo de la observación de los daños se pasó a ciertas medidas preventivas: (i) el primero, consecuencia de los severos daños en edificaciones de mampostería debido al sismo que en enero de 1907 afectó la isla de Jamaica; los constructores de esa isla acogieron la recomendación práctica de armar las paredes, eficiente recomendación aún vigente en esa y en otras islas del Caribe, y que fue objeto de una tesis en la UCV (Stolk 1932) la cual pasó inadvertida como tantos otros trabajos en nuestro país; (ii) el segundo, consecuencia de los daños en escuelas afectadas por el sismo del año 1925 en Santa Bárbara, California; se establecieron en aquel momento estrictos criterios de diseño dirigidos a los arquitectos, los cuales fueron de aplicación obligatoria después del sismo de Long Beach en 1933, con resultados exitosos en el subsiguiente sismo intenso de esa parte de California en agosto de 1952, conocido como el terremoto destructor de Kern County. Tal estrategia preventiva fue progresivamente permeando en otros documentos normativos.

VII.7.4.2.- Acciones Sísmicas Directas Permanentes: Desplazamiento de Fallas Activas

El reciente terremoto de Cariaco de fecha 09 de Julio de 1997, con fuente sobre el segmento Cumaná-Casanay de la falla de El Pilar, estuvo acompañado por el desplazamiento visible de la traza de esa falla. De acuerdo con los trabajos de campo realizados por FUNVISIS, la longitud de rotura habría sido de unos 55 a 60 km y el desplazamiento permanente después de dos meses del suceso, igual a unos 50-60 cm (FUNVISIS, 1997). Aparte de la rotura de algunas obras de infraestructura de fácil reparación, una de las lecciones que dejó este evento es que el cruce de fallas activas por tuberías enterradas u otras líneas de vida, requieren medidas preventivas para evitar daños permanentes en estas (**Nota 9**).

VII.7.4.3.- Acciones Sísmicas Indirectas, Temporales

VII.7.4.3.1.- Maremotos

La existencia de fallas geológicas submarinas activas como las que se han inferido en el litoral norte-central y oriental de Venezuela (véase FUNVISIS, 1993), configuran un riesgo de maremotos potenciales que no debe ser ignorado. De hecho, la descripción más antigua conocida de un maremoto en nuestro continente corresponde al sismo que afectó a Nueva Toledo, luego Cumaná, el primer día de septiembre de 1530. De acuerdo con la interpretación del registro histórico conocido, en el área de Cumaná cabe esperar

perturbaciones tsunamigénicas con alturas medias de ola en costas abiertas, estimadas entre 2 y 3 m cada 60 años, y alturas del orden del doble de las anteriores cada cuarto de milenio aproximadamente (**Nota 10**).

Estos valores tienen un sustento muy pobre pues son extrapolación de valores inferidos de un limitado número de descripciones poco precisas (Grases, 1976; Orihuela, 1987 y 1989). Con base en modelos matemáticos, Orihuela (1989) demostró que en la cuantificación de esta amenaza influyen múltiples parámetros locales. En las costas del sector Carúpano - Río Caribe, Orihuela encontró que las alturas máximas serían inferiores a un metro; igualmente, señaló que hacia el extremo de la península de Araya se presentan características geométricas complejas que requieren estudios adicionales (**Nota 11**). En las normas que se aplican en los proyectos de Ingeniería no se hace referencia a estos fenómenos ni a eventuales criterios de mitigación.

VII.7.4.3.2.- Seiches

Esta es una palabra de origen suizo, pues uno de los pioneros de su estudio fue un sismólogo de Lausanne (ciudad al borde del Lago de Ginebra o Lac Lemán), F. Forel, quien estudió tales anomalías durante largo tiempo. Correlacionó algunos de ellos con sismos distantes y, en su extensa obra, acuñó la palabra 'seiche' de uso común hoy en día (Forel, 1892-1904).

En Venezuela hay dos descripciones bien conocidas, ambas incluidas en el catálogo de Centeno Graü: la primera se refiere al seiche de 1868 y la segunda al de 1906 (**Nota 12**). Si bien este es un fenómeno previsible por las características del tipo de onda Rayleigh (largo período y desplazamiento de su componente vertical según una trayectoria elíptica), han sido las observaciones de campo las que han generado inquietud desde el punto de vista de la acción preventiva. Esa amenaza se mencionó específicamente en el caso de las acciones de prevención en los diques de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM); no sabemos a ciencia cierta si se llegó a considerar en la estrategia preventiva de tan importante obra de ingeniería, aun cuando la decisión de mantener el borde libre a cota + 2.3 m, con alturas de olas de diseño de 1.4 m, parece adecuada para el caso de un oleaje anormal de corta duración propio de los seiches (**Nota 13**).

VII.7.4.3.3.- Licuefacción del Terreno

Este fenómeno, consecuencia del incremento de la presión de poros, de naturaleza temporal, ha sido descrito en varios sismos pasados e incluso identificado en eventos no historiados empleando técnicas de paleosismología (Carrillo et al., 2009). En el Caribe sucedió uno de los eventos cuya descripción causó alarma en la sociedad europea, cuando buena parte de Port Royal, puerta de entrada al nido de piratas que se instaló en la costa sur de Jamaica, se fue al fondo del mar como consecuencia del sismo de Junio de 1692. Hoy es descrito como efecto de la licuefacción generalizada en ese gran banco de arena que se encuentra en la entrada a la bahía de Kingston; este fenómeno fue motivo de cuidadoso análisis en la pujante escuela de Geología inglesa.

En las narraciones de fenómenos observados durante e inmediatamente después de sismos venezolanos, son múltiples los casos de descripciones típicas del fenómeno de licuefacción. Acosta y De Santis (1997) elaboraron un mapa inventario en el cual señalan localidades afectadas por licuefacción en sismos históricos; una comparación con el mapa de curvas hipsométricas revela que predominan localidades cercanas a la costa debajo de la cota + 100 metros. Salvo advertencias muy generales, las normas no tratan criterios de

aplicación general, sustentados por conocimiento probado, que permita tomar las medidas preventivas más adecuadas. El tema es analizado con más detalle y ejemplificado con un caso real de mejoramiento del subsuelo en el oriente venezolano en Amunday (2006) (**Nota 14**).

VII.7.4.4.- Acciones Sísmicas Indirectas Permanentes: Deslizamientos

Entre los deslizamientos catastróficos más recientes destacó el bien conocido caso de San Josecito, consecuencia del terremoto de Táchira del 18 de Octubre de 1981: este barrio marginal, ubicado en un área con antecedentes de inestabilidad por deslaves en la base de un talud carretero, quedó tapiado por un gran deslizamiento que arrastró parte de la vía del llano. El total de víctimas y desaparecidos se estimó en más de 50 personas (FUNVISIS, 1982) (**Nota 15**). En la última versión de la Norma 1756 de COVENIN, se dan criterios generales para la evaluación de este tipo de riesgo, de evaluación obligada en embalses y otras obras de infraestructura. Entre los aspectos novedosos se incorpora en la norma el denominado 'estado postsísmico', equivalente a la probable merma de la reserva resistente de un talud, luego de un sismo intenso.

Esta situación particular ha sido considerada como agravante en la evaluación del riesgo de macro-deslizamientos. A lo largo de nuestra historia sísmica destacan dos eventos bien conocidos: (i) el alud y consiguiente laguna de represamiento de La Playa (hacia Tovar) en 1610 y posterior flujo de descarga que dejó varios muertos y unas 500 cabezas de ganado sepultadas (Singer, 1998; Singer y Lugo, 1982; Ferrer y Lafaille, 2000) y; (ii) el represamiento del río Yurubí durante 2 ò 3 días después del terremoto de Marzo de 1812 y posterior anegamiento de San Felipe el Fuerte (**Nota 16**). La evaluación de este tipo de amenaza es particularmente pertinente cuando aguas abajo existan poblaciones o instalaciones expuestas, con el fin de minimizar el riesgo de situaciones catastróficas (**Nota 17**).

VII.8.- PRIMERAS NORMAS PARA LA PREVENCIÓN SÍSMICA

Aparte de catálogos contentivos de la descripción de los efectos de sismos, así como de recomendaciones generales, no se puede hablar de Ingeniería Sismo-resistente en el sentido preventivo, hasta las iniciativas del doctor Alberto Eladio Olivares y sus colegas en el Ministerio de Obras Públicas (MOP) a fines de los años 30. La inquietud por uniformar los criterios de cálculo y construcción por parte de los profesionales activos en ese Ministerio, cuya área de acción se fue ampliando a todo el país, dio pié a las primeras Normas del MOP: en 1938 el *Proyecto de Normas para la construcción de edificios* y en 1939 las *Normas para el cálculo de edificios*. El primero de esos documentos, revisado, aumentado y corregido, se publicó en 1945 bajo el título: *Normas para la Construcción de Edificios*.

VII.8.1.- La Norma de 1939 y el Texto del Dr. Melchor Centeno Graü

Ese año, el MOP publicó las primeras Normas para el Cálculo de Edificios. En su Capítulo 2, Art. 7, N° 31, establecía lo siguiente: "*Es necesario estudiar la estabilidad de las edificaciones contra los movimientos sísmicos, debiéndose comprobar dicha estabilidad en aquellos edificios de más de tres pisos en todo el país y, en particular para las regiones montañosas de los Andes y la costa, se hará en todos los casos*". Debido a que las construcciones que se realizaron fueron en su mayoría de baja altura, esta normativa no tuvo mayor aplicación hasta mediados de los años 40; no obstante, revela la percepción que se tenía sobre la peligrosidad sísmica en el país para esas fechas.

En 1940 el Doctor Melchor Centeno Graü publicó la primera edición del libro *Estudios Sismológicos*. Como capítulo X de ese texto, el autor incluyó el más acucioso y extenso catálogo de sismos sentidos o destructores de Venezuela desde 1530 hasta noviembre de 1939. Esta fue la base de un mapa donde señaló localidades afectadas por sismos, mapa este que parece no haber sido del conocimiento de los ingenieros del MOP. En 1969 la Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales auspició la edición post-mortem de esta obra pionera en Venezuela. El mapa anterior fue sustituido por el que venía ejecutando el autor cuando falleció en 1949.

Por último debe citarse el capítulo IX de la misma obra recién citada, titulado: *Construcciones y sus Fundaciones en Pisos Apropriados* (Centeno, 1940b). En adición a recomendaciones generales sobre suelos, fundaciones y la importancia de la calidad de los materiales, enfatizó que: “*La observación constante después de los grandes terremotos es la más segura guía para las construcciones posteriores...la enseñanza objetiva.../se basa/ en las experiencias adquiridas en el examen y estudio de las ruinas después de un terremoto*”.

VII.8.2.- La Norma de 1947

Las Normas sísmicas del MOP se modificaron en 1947, tomando en consideración criterios aprobados en California. En efecto, el primer código para la ciudad de Los Ángeles, promulgado en 1933, fue modificado en 1943. Se incorporó allí un coeficiente sísmico variable (C) función del número de pisos (N) por encima del considerado; la fórmula empleada fue: $C = 60/(N + 45)$. De este modo y por vez primera, la flexibilidad de la estructura es considerado de alguna manera, limitando su validez hasta 150 pies de altura, aproximadamente 15 niveles. Este fue el esquema que se adoptó como novedad en la Norma MOP de 1947. Por resolución N° 2, del 23 de Agosto de 1947, ese ministerio declaró oficial las: “*Normas para el Cálculo de Edificios*”; estas se promulgan por disposición de la Junta Revolucionaria de Gobierno, como: “... *la práctica usual del Ministerio*”. Es en este documento donde se estableció la acción de los movimientos sísmicos, conjuntamente con el primer mapa de zonificación sísmica con fines de ingeniería que tuvo el país.

El año 1945 se elaboró la Memoria que acompañó el proyecto del Hospital Clínico y otros edificios de la Escuela de Medicina de la Ciudad Universitaria de Caracas; el proyecto fue ejecutado por la firma de Ingenieros Consultores: Pardo, Proctor, Freeman y Mueser. Esa Memoria, en idioma español, se publicó en Caracas en septiembre de 1963 firmada por el doctor Edgar Pardo Stolk y contiene información detallada sobre los espectros empleados, tema que se trata en la **Sección VII.11**.

Con relación a la investigación practicada sobre los sismos de Caracas, en ese texto el doctor Pardo afirmó que los datos disponibles: “... *solo se pueden clasificar dentro del carácter de información anecdótica, de pequeños movimientos sísmicos insuficientes para el objeto perseguido, /y por tanto/ fue necesario recurrir a una comparación con otras localidades, teniendo en cuenta la violencia que parecen haber tenido en esta ciudad los terremotos del siglo pasado*” (Pardo Stolk, 1963). Sin citarla, es muy probable que su principal fuente de información haya sido el libro del ingeniero Melchor Centeno, publicado en 1940.

El doctor Edgard Pardo Stolk, incorporó así, probablemente por vez primera en el análisis sísmico de edificaciones de varios niveles en el país, consideraciones sobre las propiedades dinámicas de las estructuras. Ese hospital, así como las construcciones

proyectadas por su empresa para la futura UCV, pasaron el sismo de 1967 sin problema alguno. Aún cuando la trascendencia de esta decisión fue muy local, es obligado destacar en esta Historia de la Ingeniería Estructural que un colega Venezolano, utilizase el año 1945, o antes probablemente, el novísimo concepto de espectro de respuesta en la evaluación sísmica de una edificación a ser construida en Caracas. Es sabido que, después del terremoto de Caracas en 1967 e incluso después de la promulgación en 1982 de la Norma COVENIN 1756 –*Edificaciones Antisísmicas*– de aplicación obligatoria, llevó un cierto tiempo la asimilación de ese concepto hoy de uso corriente.

Otras dificultades encontradas en el medio local, por el tipo de soluciones que se propusieron en ese proyecto, también son descritas por el doctor Pardo Stolk en la citada Memoria. Por ejemplo, la disposición de fundaciones sobre pilotes: “...*crearon un revuelo entre técnicos y profanos, pues aquí no se usaban desde la construcción de los puentes Sucre y San Francisquito antes de 1930...*”. Igualmente: “...*los bloques huecos de arcilla, hoy de uso corriente y de fabricación perfecta...eran novedad de la industria de entonces, al punto que los tabiques entre los huecos, no bajaban de dos centímetros de espesor de un material mal cocido. Otros equipos necesarios eran totalmente desconocidos y la posibilidad de su uso jamás imaginada, aún por personas de alta responsabilidad tanto en la obra como en su utilización posterior.*’

VII.8.3.- La Norma de 1955

En la Norma MOP del año 1955 se ampliaron un conjunto de conceptos ya incluidos en la versión del año 1947 y se incluyeron en el mapa de zonación nuevas zonas sísmicas donde debían considerarse tales acciones: áreas de Lara afectadas por el terremoto de El Tocuyo de 1950 y el estado Táchira. Con todo, en la zona de Caracas las acciones sísmicas se mantuvieron como un 50% de las correspondientes a las de mayor peligrosidad según esa norma: los estados Sucre y Nueva Esparta.

Para el diseño de las estructuras de los edificios, se mantuvo vigente la fórmula según la cual los coeficientes de diseño se reducían en la medida que se incrementaba el número de niveles. No se consideraron en esta nueva versión de la norma, conceptos más modernos como los propuestos por De La Rosa y Urreiztieta dos años antes véase la **Sección VII.9.2).**

VII.9.- CONTRIBUCIONES PREVIAS AL TERREMOTO DE 1967

VII.9.1.- Contribuciones de los Años 50 y 60

En 1951, el ingeniero Blas Lamberti publicó en el N° 181 de la *Revista del CIV* un trabajo titulado: ‘*Métodos aproximados para el cálculo de entramados de edificios sometidos a fuerzas horizontales aplicadas a nivel de los pisos*’. Este fue seguido el año 1954, en el N° 223 de la *Revista del CIV*, por otro trabajo con objetivos similares titulado: ‘*Método de la estructura equivalente para el cálculo de edificios antisísmicos*’. Basado en el citado modelo, el trabajo estuvo dirigido a la distribución de las ‘cargas’ sísmicas. Denominado Método de Lamberti, fue de aplicación generalizada, incluso en los cursos de Estructuras (Lamberti, 1951; 1954).

En adición a los artículos mencionados en el párrafo anterior, otros autores propusieron métodos para el análisis de estructuras. En particular el ingeniero Alberto E. Olivares publicó contribuciones dirigidas a la solución de estructuras tipo pórtico; en particular el caso de pórticos espaciales (Olivares, 1952a). En esa misma dirección, el ingeniero Víctor Sardi divulgó el método de la distribución de momentos de Cross en un

texto con ejemplos de aplicación para resolver el caso de pórticos sometidos a fuerzas horizontales (Sardi, 1962).

VII.9.2.- Propuesta de Normas de Concreto Armado para Desarrollar Ductilidad

En tres entregas aparecidas el año 1953 en los números 206 (Mayo), 207 (Junio) y 208 (Julio) de la *Revista del CIV*, los ingenieros Julián De La Rosa y Oscar Urreiztieta, probablemente motivados por los efectos del terremoto de El Tocuyo del año 1950, sometieron a la consideración de sus colegas un muy amplio y bien sustentado documento para el diseño de estructuras de concreto reforzado; se extendía a la consideración de la determinación de las fuerzas para el diseño sismo-resistente. Esa moderna ponencia se fundamentó en la nueva normativa establecida el año 1952 por el Comité Conjunto ASCE-SEAONC, Sección San Francisco; en ella se incorporaron los espectros de respuesta y, por tanto, el período fundamental de la estructura. La rama descendente del espectro quedaba definida como: $0.015/T$ (De La Rosa y Urreiztieta, 1953). En comunicaciones no publicadas sobre esa propuesta divulgada en el órgano técnico del mayor prestigio en ese momento, se emitieron opiniones no favorables y, simplemente, fue ignorada.

VII.9.3.- Texto del Doctor Víctor Sardi sobre el Método de Cross

En el prefacio de ese texto, el profesor Sardi anotó lo siguiente: "*En la actualidad, el Método de Cross de la Distribución de los Momentos para el cálculo de estructuras, no necesita mucha presentación, pues son pocas las Universidades en el mundo en donde no se estudie este procedimiento que, con razón se ha dicho, era la mejor aportación de estructuras en lo que iba de siglo hasta 1930, cuando apareció el trabajo original de Hardy Cross, en los "Proceedings" de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. Esta publicación, de sólo diez páginas, mereció ser discutida por treinta y cinco especialistas en ciento cuarenta y seis páginas.*" Destacó en la obra del doctor Sardi la ejemplificación de sistemas de pórticos planos, bajo fuerzas laterales que simulan la acción sísmica (Sardi, 1962).

También aludió el Profesor Sardi en su prefacio, la naturaleza incierta por el hecho de ser un procedimiento de aproximaciones sucesivas. Dijo: "*También es corriente encontrar personas que, olvidándose de las grandes incertidumbres involucradas en la determinación de las solicitaciones, valores característicos de los materiales y de las estructuras, pretenden lograr una gran precisión en los cálculos; para estas personas resulta sumamente tedioso el Método de Cross, por la gran cantidad de etapas que deberían ejecutar para sentirse satisfechos*". Pocos años después presentó un trabajo sobre la frecuencia de los sismos en Caracas, en el cual se reconoce por primera vez entre los profesionales de la ingeniería, la naturaleza incierta de su pronóstico; introdujo la distribución de valores extremos de las magnitudes Richter de tales eventos (Sardi, 1968).

VII.9.4.- Nueva Norma para Diseño de Miembros de Concreto Armado

En junio de 1967, la Comisión de Normas del MOP publicó las *Normas para el Cálculo de Estructuras de Concreto Armado para Edificios. Teoría Clásica*. Este documento fue el resultado de una ponencia preparada por el Profesor Alfredo Páez Bálaca para el Comité Conjunto del Concreto Armado (CCCA) y analizada posteriormente por la citada comisión (MOP, 1967a).

En la resolución que sobre ese documento firma el Ministro para ese momento, el ingeniero Leopoldo Sucre Figarella, se indica lo siguiente: '*Las Normas a que se refiere*

esta Resolución han sido preparadas para ser empleadas en las construcciones de este Despacho, pero su observancia no exime de responsabilidad profesional'. Se advierte en la Introducción a ese documento suscrito por la Comisión de Normas del MOP que: *'...la correcta aplicación de estas normas, hará el cálculo de estructuras más laborioso...Esta circunstancia será cierta hasta que se elaboren tablas para el cálculo o se confeccionen otras ayudas como ábacos, etc. Sobre esta materia, la Comisión considera la puesta al día del 'Manual para el Cálculo de Edificios'....la Comisión cree conveniente publicarla /La nueva norma/ sin carácter preceptivo obligatorio...pero recomendando su empleo a título de orientación...'*

A la cautela anterior, debe añadirse que en la contratapa de ese libro se da la lista de publicaciones del CCCA. Entre ellas se anuncia: *Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Concreto Armado. Teoría de los Estados Límites*, obra que no llegó a ser publicada. Otra de las consecuencias del terremoto cuatricentenario.

VII.9.5.- Pronósticos

De los diez capítulos del libro de Centeno Grau, edición post mortem de 1969, es en el séptimo donde el autor reveló su especial interés por encontrar posibles secuencias temporales en diferentes áreas sísmicas del país; lo que él denominó: *"Ley de coincidencias sísmicas"*. Ese capítulo, enriquecido en su segunda edición con una Tabla N° 0 en la cual se recogieron eventos sísmicos posteriores a 1939 -fin del catálogo de la primera edición-, contiene una extensa discusión sobre las *'coincidencias'* encontradas. Anotó allí Centeno: *"No habiendo acaecido ningún sismo desastroso en 1937 en la Cordillera Central de la Costa, ¿corresponderá al /apso/ de 1968 a 1971 calculado en la Nota (P) del Cuadro 2?"*. El sismo destructor ocurrió el 29 de Julio de 1967 (Centeno, 1969, p. 98).

Esta *'predicción'*, no conocida para la fecha del terremoto de Caracas de 1967, es del mismo tenor que la conclusión de Fiedler publicada en 1962, basada en la estadística sobre la sismicidad del área, cuando afirmó: *"Únicamente en la región de Caracas casi se ha sobrepasado el período sin ocurrir un sismo de importancia..."*; el período al cual hacía referencia este autor se extendía hasta 1969.5, resultado de la siguiente operación: $1900 + 60 \pm 9.5$ años (Fiedler, 1962).

VII.10.- EL TERREMOTO DE CARACAS, 29 DE JULIO 1967

VII.10.1.- Breve Descripción y Medidas Inmediatas

A las 6:24 AM, hora local del día 29 de julio de 1967 ocurrió un sismo de magnitud 6.6, en la provincia Norte de Santander. Fue destructor en Cúcuta y Bucaramanga donde dejó un balance de 20 muertos; en San Cristóbal hubo daños y se reportaron dos muertes.

Ese mismo día, a las 8 PM, Caracas sufrió los efectos del llamado Terremoto Cuatricentenario, de magnitud 6.3-6.5. Prácticamente la totalidad de las 300 víctimas de este sismo fue debido al derrumbe de 4 edificaciones, de 10 a 12 niveles, en un área limitada de Caracas, así como el derrumbe parcial del edificio Mansión Charaima y otros pocos edificios de 2 a 3 plantas en Caraballeda, litoral central.

Se constataron manifestaciones de licuefacción en la ribera sur-oeste del Lago de Valencia, a unos 100 km del área epicentral. El único registro instrumental de ese sismo, fue el de un sismoscopio *'casero'* que el doctor Fiedler dejó instalado en el Cajigal antes de su viaje a Japón, atendiendo una invitación para reunir sismólogos de todos los continentes. En la **Figura 3** se reproduce copia de ese registro (**Nota 18**).

La misma noche del terremoto, el Ministro de Obras Públicas, ingeniero Leopoldo Sucre Figarella, comisionó al director general de ese Ministerio, León Arocha Carvajal, la coordinación de actividades de auxilio e inspección de edificaciones. Además de la designación de la Comisión Presidencial para el estudio del sismo, en el Colegio de Ingenieros de Venezuela se organizaron comisiones de inspección para identificar edificaciones riesgosas. A pocos días se creó la Oficina Técnica Especial del Sismo integrada por destacados profesionales de la ingeniería venezolana: J. Sanabria, B. Lamberti, E. Pardo Stolk, A. Sucre, P. Lustgarten, P.P. Azpúrua, H. Pérez La Salvia, A.E. Olivares, F. Briceño, S. Castellanos y M.A. Planchart. Conocida como 'la OTES', esta oficina organizó la evaluación de edificaciones afectadas por el sismo, así como los proyectos de reparación o reforzamiento. Luego de la creación de FUNVISIS, en julio de 1972, su director técnico, el ingeniero Luís Urbina L. adelantó múltiples diligencias para localizar el archivo de OTES, pues allí quedó constancia de los criterios de reforzamiento adoptados; este importante repositorio de proyectos nunca pudo ser encontrado en los depósitos del MOP.

VII.10.2.- Resultado de las Inspecciones y Evaluaciones Visuales de Edificaciones

A pocas horas del sismo, las Comisiones del CIV, del Banco Obrero, de las Ingenierías Municipales y de las universidades nacionales comenzaron a recorrer áreas urbanas afectadas por el sismo. Los resultados se volcaron sobre un conjunto de 30 planos de la ciudad, escala 1:5.000, existentes en la Oficina Municipal de Planeamiento Urbano (MOP, 1967c).

Como resultado de ese inventario de daños, el número total de inmuebles afectados en el valle de la capital y urbanizaciones conexas, fue de 2.298 casos, de los cuales: 45% fueron viviendas de una y dos plantas, y 54% edificios de varios niveles; el total de edificios de 10 ó más niveles identificados en el valle de Caracas fue cercano a mil, de los cuales, 4 alcanzaron el estado de ruina total donde perdieron sus vidas cerca de 300 personas. Los daños fueron clasificados en cuatro tipos: (i) leves, no estructurales; (ii) daños en la estructura portante; (iii) muy dañados, y; (iv) colapsos o irreparables. Del total anotado anteriormente, 629 edificaciones, algo más de la cuarta parte fueron calificadas como graves, irreparables o colapsos. De ellos, 17 edificios quedaron calificados como irreparables o colapsos, 4 de los cuales fueron colapsos. Su finalidad, levantar un inventario de edificaciones claramente inseguras y otras que requerían evaluaciones más detalladas antes de autorizar su ocupación. Arcia (1970) publicó los resultados sobre el desempeño de 686 edificaciones ubicadas en dos áreas del valle de Caracas, la cual se reproduce en la **Tabla VII.2.**

Tabla VII.2
Efecto del Subsuelo local en el Desempeño
de Edificaciones en el Terremoto de Caracas de 1967

Nivel de Daños	Área Urbana de Caracas	
	Palos Grandes y Alrededores (espesores de aluvión entre 140 y 280 m)	San José y alrededores (espesores de aluvión hasta 100 m)
Sin daños	225 (80.7%)	385 (94.6%)
Leves o Reparables	31 (11.1%)	19 (4.7%)
Irreparables	19 (6.8%)	3 (0.7%)

Ruina	4 (1.4%)	0
Total	279 (100%)	407 (100%)

Los espesores de aluvión que se dan en la **Tabla 2** provienen de la información disponible para la fecha del sismo. Trabajos concluidos en fecha más reciente han reducido la potencia de los mismos.

Pocos días después del sismo comenzaron a llegar ingenieros especializados, miembros de Misiones Técnicas enviadas por diversos organismos de asistencia y organizaciones profesionales. Muy pronto hubo una estrecha interacción entre los más experimentados por haber evaluado los efectos de sismos anteriores y sus colegas venezolanos. Tal interacción resultó de gran utilidad pues contribuyó a una mejor comprensión de la afectación de algunas estructuras. Las principales observaciones fueron: (i) la intensidad de las sacudidas no fue uniforme en el valle de Caracas, ni en el Litoral Central; experiencias anteriores apuntaban a efectos locales del subsuelo que posteriormente fueron puestas en evidencia; (ii) la interacción estructura-paredes de cerramiento, fue un agravante en la vulnerabilidad de algunas estructuras; (iii) en términos generales, la calidad de la construcción fue considerada muy buena aún cuando se constataron deficiencias en algunos detalles de armado; (iv) las normas vigentes debían ser actualizadas; (v) la duración del temblor y sus réplicas inmediatas fue limitada, lo cual tuvo como consecuencia que algunas estructuras dañadas señalaran el inicio de mecanismos conducentes a estados últimos de agotamiento o ruina.

Los efectos destructores y edificios desplomados fueron descritos por la Comisión Presidencial con cierto detalle en un primer informe de 3 volúmenes (Comisión Presidencial, 1968). Los resultados de estudios e investigaciones ad-hoc, lecciones y observaciones sobre otros aspectos particulares fueron agrupados en un segundo informe de dos volúmenes también coordinado por la Comisión Presidencial y publicados en 1978. Estas y una revisión de los numerosos informes preparados por los miembros de las Misiones Técnicas que inspeccionaron la capital y sus zonas aledañas fueron sintetizadas en (Ugas y Grases, 1980). Una compilación de los informes conocidos para esas fechas se dio en (Ugas et al., 1983).

Las estadísticas de pérdidas sustentaron una nueva tarifa para pólizas de Seguro contra Terremoto aprobada por la Superintendencia de Seguros, la cual se promulgó en agosto de ese año.

VII.10.3.- Norma Sísmica Provisional del MOP

El desempeño constatado y las recomendaciones hechas por expertos de las Misiones Técnicas, fueron objeto de consideración para evaluar las bondades de la Norma MOP (1955) vigente para el momento del sismo. Muy pronto se llegó a la conclusión que los requerimientos vigentes entre nosotros, ya habían sido abandonados en otras latitudes razón por la cual era preciso adecuar los aspectos relativos a las acciones de los sismos de la Norma MOP de 1955. La Comisión que emprendió la discusión de la ponencia estuvo presidida por el ingeniero J. Sanabria y sus miembros fueron los ingenieros: J. Bergeret De Cock, L.E. Hurtado Vélez, E. Gómez Escobar, N. Colmenares, G. Bourgeot López, Arq. R. Henríquez; como Consultores actuaron los ingenieros: V. Sardi, P. Lustgarten y P. Tortosa Rodríguez.

Concluida esta tarea, el resultado se hizo público durante el mes de noviembre de ese año en un documento titulado: *Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas*.

En la Introducción suscrita por la Comisión redactora, fechada el 31 de octubre de 1967, se anunció que: “...en un futuro próximo se elaborarán nuevas normas antisísmicas que sustituirán la hoy promulgada”, las cuales son: “...de aplicación obligatoria no solo para las obras de sus dependencias /MOP/ sino para todas las que se proyecten y ejecuten en Venezuela” (MOP, 1967b)

Igualmente se advirtió que: ‘El buen éxito de una obra depende, especialmente en este caso, de la experiencia y criterio del autor, así como la atención y cuidado que preste a todos los detalles tanto del proyecto como de la ejecución’. Debe tenerse presente la advertencia que dejó escrita la inobjetable Comisión de expertos que redactó la citada Norma provisional del MOP, según la cual: “... el cálculo antisísmico en la forma aquí recomendada, o en la de otras normas extranjeras, no constituye ni puede constituir garantía absoluta contra los graves daños de los terremotos, que envuelven factores muy diversos y cuyos efectos solo se logran conocer por el análisis de las observaciones obtenidas con la repetición de tan peligrosos elementos destructivos de la naturaleza” (subrayado nuestro). Buena parte de los aprendizajes, con frecuencia costosos en vidas, que permitieron modernizar la Ingeniería sismo-resistente en las décadas subsiguientes ilustraron como: “...el análisis de las observaciones obtenidas con la repetición de tan peligrosos elementos destructivos de la naturaleza”, guió la modernización de normativas que han conducido a una más confiable acción preventiva contra inevitables sismos futuros. Esa acertada advertencia hecha en 1967 por la Comisión que redactó la Norma Provisional del MOP, aplicada a casos catastróficos, es la que ha permitido una exhaustiva evaluación de pérdidas irreparables, empleando para ello técnicas de análisis totalmente desconocidas para la fecha en la cual se realizó un determinado proyecto (**Nota 19**).

Los nuevos procedimientos establecidos en la Norma para calcular las solicitaciones sísmicas, fueron acompañados de recomendaciones específicas para el detallado del refuerzo como son las del denominado 'nodo sísmico'. En efecto en el párrafo 8, Artículo 13 de ese documento, titulado *Prescripciones y Recomendaciones Generales*, se estableció lo siguiente: “En columnas y vigas se recomienda disminuir la separación de ligaduras y estribos, en las zonas adyacentes a los nodos, a la mitad de la calculada para el resto del elemento correspondiente. En las columnas, esta zona abarcará 1/5 de la altura de los pisos. En las vigas, esta zona será, por lo menos, igual a dos veces la altura de ellas.” Si bien esa recomendación puede considerarse acertada para ese momento, no se hizo mención explícita allí sobre dos aspectos críticos, propios de las ligaduras y estribos empleados hasta esa fecha y señalados en múltiples informes de campo del terremoto de Caracas como agravantes en la vulnerabilidad de nuestras estructuras de concreto reforzado. Estos son: (i) la ausencia de ganchos a 135 grados tanto en ligaduras como en estribos; (ii) la ausencia de confinamiento en las uniones de miembros. Con base en las normas hoy vigentes, la eficiencia de las recomendaciones hechas en el citado párrafo número 8, se considera limitada si se omiten estos dos últimos aspectos recién identificados como (i) y (ii).

La aplicación de la nueva Norma fue apoyada por las Comisiones Técnicas que el día primero de agosto de 1967 fueron designadas por la directiva del Colegio de Ingenieros de Venezuela, presidida en ese momento por el ingeniero E. Acosta Hermoso. La que integraba la Asociación de Ingeniería Estructural, de la cual era presidente el Profesor David Darío Brillembourg, dejó asentado en el Boletín N°8 de esa Asociación publicado en Febrero de 1968, lo siguiente: “Sería una irresponsabilidad ética el no diseñar los nuevos edificios a la luz de las nuevas Normas Provisionales para Construcciones Antisísmicas

puesto que ellas representan, para el momento, el mejor elemento de juicio que poseemos para resolver el problema dentro de las exigencias de la técnica moderna y de nuestros actuales conocimientos” (Brillembourg, 1968).

De modo que hasta la aprobación de la primera norma COVENIN 1753, 14 años después, la normativa que controló el detallado de estructuras de concreto reforzado no fue modificada. Conviene que la secuencia de decisiones y las razones aquí anotadas sean conocidas, pues inevitables eventos futuros lo podrán requerir.

VII.10.4.- Consecuencias en la Ingeniería Estructural

Si bien una descripción de hechos es necesaria y ofrece ventajas, la simple narración de los mismos puede no reflejar aspectos relevantes. Sobre la materia tratada destacan aquí los tres siguientes:

- (1) Los efectos del terremoto de 1967 en la capital y el litoral central, movilizó toda la comunidad profesional; no fue solo por solidaridad gremial, sino también por una legítima preocupación sobre una amenaza de la naturaleza a la cual se había prestado muy poca atención. Esa inquietud despertó interés inmediato, especialmente entre aquellos dedicados a la vida universitaria: representó un antes y después tanto en la aplicación como en la enseñanza de la Ingeniería Estructural. A pocos años de ese sismo, se propuso a las autoridades de la Universidad Central de Venezuela la organización de una Maestría sobre la materia, a ser dictada en la Facultad de Ingeniería. Ya para esos momentos, había decaído la inquietud sobre un fenómeno cuya eventual repetición se veía lejana. Al punto que el doctor Antonio Quesada, representante en ese momento de la OEA y empeñado en darle vida a esa iniciativa académica, en reunión celebrada durante la mañana del 23 de julio de 1972 en la dirección del IMME, expresó: *“Ideal sería que sucediese un nuevo temblor para que los autoridades se motiven una vez más”*. No habían pasado 24 horas cuando en Caracas se sintió un fuerte temblor, luego bautizado como sismo de La Tortuga por haber sido esa isla su zona epicentral (Arcia, 1975). Un mes después de esa sacudida se tenía: la propuesta aprobada, los profesores habían sido asignados, la oferta de becas de OEA circulando por los países vecinos y, en agosto de 1973, en acto solemne, se dio inicio a la Maestría en Ingeniería Sismo-resistente. En ese primer curso participaron profesionales provenientes de: Colombia, Ecuador, Perú, República Dominicana y Venezuela. Otras iniciativas en esa misma dirección también vieron su comienzo en la Universidad de Los Andes y en la Universidad Simón Bolívar, sea a nivel de postgrado o de pregrado. El hecho es que el tema ‘sismo’ se fue incorporando progresivamente en la enseñanza universitaria. Este es un aspecto que resultó fundamental en la formación de una estrategia preventiva que, vista a distancia, ha arraigado entre nuestros profesionales;
- (2) Como consecuencia de lo anotado en (1), la toma de conciencia a nivel gerencial del ‘problema sismo’, como una variable a considerar en los grandes proyectos de Ingeniería, fue manifiesta desde finales de los años 70. Sin duda hace unos 35 a 40 años las consideraciones asociadas a posibles acciones debidas a los sismos eran generalmente ignoradas. Recordamos muy bien al ingeniero Mihail Gerov, uno de los gerentes de la Electricidad de Caracas, cuando a mediados del año 1975 se presentó espontáneamente al IMME, Facultad de Ingeniería de la UCV, a manifestar su inquietud debido a que en el proyecto de ampliación de la planta termoeléctrica de Tocoa, se tenía prevista la construcción de chimeneas de cierta altura. Dijo: *“...esa es*

una zona sísmica”. De la conversa, al Instituto se le contrató un Servicio Técnico que contemplaba: (i) la evaluación de las acciones sísmicas a considerar y; (ii) el cálculo de la respuesta dinámica a esas acciones de las tres chimeneas ya dimensionadas. La primera parte fue responsabilidad de los profesores Celso Tulio Ugas, Yolanda Molina y José Grases, y la segunda del profesor Redescal Uzcátegui, todos miembros de la Facultad de Ingeniería. También es de esa época, inicios de 1978, la consulta de un Ministerio sobre el sitio que fuese menos problemático para la construcción de un astillero desde el punto de vista sísmico. Los sitios a considerar fueron: el Golfo de Cariaco, un sitio entre Patanemo y Puerto Cabello, y Los Taques en el estado Falcón. Consideraciones hechas por Celso Tulio Ugas, Yolanda Molina y José Grases, señalaron como área menos problemática desde el punto de vista sísmico Los Taques, ubicado en la costa sotavento de la península de Paraguaná. En abril del mismo año el IMME entregaba los resultados del estudio de peligrosidad sísmica y estabilidad de los suelos del área.

- (3) Probablemente influenciados por campañas de divulgación hechas vía televisión y radio por parte de FUNVISIS, no son infrecuentes acciones de naturaleza preventiva para adecuar o reforzar edificaciones privadas: sean viviendas, comercios o industrias. En esa dirección, algunas Alcaldías ofrecieron programas de asesoramiento. De modo que aún cuando no en forma sistemática, la evaluación de edificaciones empleando las Normativas vigentes ha reducido la vulnerabilidad de edificaciones diseñadas y construidas con el sustento de normas ya obsoletas. Este tipo de intervenciones se inició en la industria petrolera a mediados de los años 80. Entre las primeras destaca el reforzamiento de instalaciones en el área de ‘alquilación’ de la Refinería de Puerto La Cruz, gracias al interés y empeño que puso el ingeniero Orlando López, gerente para ese momento. Esa intervención dio pie para que se elaborara en el seno de INTEVEP, y gracias al interés personal de los ingenieros Elai Schwarck y Milton Contreras, las Especificaciones PDVSA para el diseño sismo-resistente: JA-221, JA-222, FJ-251 y, posteriormente, la JA-224, todas ellas incorporadas al *Manual de Ingeniería de Diseño de PDVSA*; hoy son las Normas COVENIN 3621:2000, 3622:200, 3623:2000 y 3624:2001.

VII.10.5.- Sustitución de la Norma Sísmica Provisional del MOP

Independientemente de las limitaciones propias de la normativa que establecía las acciones sísmicas vigente para la fecha del Terremoto Cuatricentenario -criterios que fueron modificados en la Norma Provisional publicada en noviembre de ese año-, el desempeño de múltiples estructuras reveló problemas de armado que merecían atención.

La 'provisionalidad' de la Norma se extendió hasta 1982 y las especificaciones para el detallado de estructuras de concreto armado o de acero vinieron a ser modificadas formalmente en los años 80 (véase el **Capítulo IX** sobre la Normalización en Venezuela).

VII.11.- ESPECTROS

VII.11.1.- Antecedentes

En 1931 el ingeniero K. Suyehiro fue invitado a California para explicar la experiencia japonesa al mundo occidental (véase: Richter, 1958, p. 12 y p. 102). Sus conferencias fueron publicadas bajo el título: “*Engineering Seismology*”, en los Proceedings de la ASCE, 58:4, en 1932. En ellas, Suyehiro estableció la necesidad de que el proyectista trabajase con registros acelerográficos de movimientos fuertes del terreno

obtenidos durante sismos reales. De sus estudios del terremoto de Kwanto, (septiembre de 1923, $M = 8.3$, en: Richter, 1958, p. 560) concluyó que el mejor valor de la aceleración del terreno a utilizar con fines de diseño era 0.15g, aún cuando también hubo evidencias de aceleraciones mayores; destacó que edificaciones diseñadas con 0.1g sobrevivieron sin problemas (Suyehiro, 1932) (**Nota 20**).

VII.11.2.- Estudios de los Registros Acelerográficos en California

Los sismos mayoritariamente californianos de: Santa Bárbara (1925), El Centro (1931), Long Beach (1933), Helena (1935) y El Centro (1940) fueron precursores definitivos de las acciones preventivas en Ingeniería Sísmica en la costa occidental de los Estados Unidos. M. Biot, investigador del Instituto Tecnológico de California, publicó los resultados obtenidos con un analizador mecánico (Biot, 1943a; 1943b) descrito en un trabajo publicado por él dos años antes (Biot, 1941). En esos trabajos pioneros, Biot presentó los espectros de un cierto número de registros (Helena, 1935; Ferndale, 1935, 1937 y 1938) proponiendo una curva media de respuesta denominada “*Standard acceleration spectrum*”, para amortiguamiento nulo.

En 1947, el profesor George Housner desarrolló una idealización del movimiento del terreno en forma de conjuntos de pulsos aleatorios, representándolos por sus espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento. Este investigador calculó los espectros de varios acelerogramas y propuso representar los movimientos sísmicos por medio de espectros promedio (Housner, 1947; 1952). El cálculo exacto de los espectros de respuesta, fue presentado por primera vez por Alford et al. (1951).

En 1951, el Comité Conjunto de: Structural Engineers Association of Northern California (SEAONC) y American Society of Civil Engineers (ASCE), publicó el documento que recogió por vez primera la aplicación práctica de los espectros con fines de análisis y diseño de estructuras (SEAONC-ASCE, 1951).

VII.11.3- Primer Espectro de Respuesta Empleado en Venezuela

La mención más antigua que hemos encontrado sobre el empleo de los espectros en Venezuela se encuentra en la Memoria del Proyecto de la Escuela de Medicina de la nueva UCV del año 1940, publicada por el ingeniero Edgard Pardo Stolk en 1963. El proyecto fue ejecutado por la firma de ingenieros: Pardo, Proctor, Freeman y Mueser, Caracas, el primero de los cuales representaba el 50% de las intereses de la firma (Pardo Stolk, 1963, p. 121).

En otras partes de esa extensa memoria, Pardo Stolk se refiere a la selección de los valores de diseño (**Nota 21**). Más adelante el doctor Pardo Stolk hace referencia a una observación de Suyehiro -trabajo comentado en la **Sección VII.11.1-** en la cual dejó constancia de que: '*Como cuestión práctica, el hecho de que edificios calculados con 0.10 de la gravedad resistieron relativamente bien el terremoto de 1923 es una referencia y un argumento de valor*'. Finalmente y con relación al diseño del Hospital Universitario, anotó: "*Pesando todos los datos anotados y tratando de tener en cuenta todas las circunstancias, se decidió adoptar un factor de la gravedad de 0.10 para la totalidad del edificio al nivel del primer piso*".

Aún cuando su trascendencia fue muy local, es obligado destacar en esta Historia de la Ingeniería Estructural que un colega Venezolano, utilizase en 1940 el novísimo concepto de espectro de respuesta en la evaluación sísmica de una edificación a ser construida en Caracas. Después del terremoto de Caracas en 1967 e incluso después de la promulgación

de la Norma COVENIN 1756 –*Edificaciones Antisísmicas*- de aplicación obligatoria, llevó un cierto tiempo antes de asimilar ese concepto hoy de uso corriente

Otras dificultades que señaló el ingeniero Pardo por el tipo de soluciones que se propusieron en ese proyecto, también se dieron esa memoria. Por ejemplo, la disposición de fundaciones sobre pilotes: ‘...*crearon un revuelo entre técnicos y profanos, pues aquí no se usaban desde la construcción de los puentes Sucre y San Francisquito antes de 1930... los bloques huecos de arcilla, hoy de uso corriente y de fabricación perfecta... eran novedad de la industria de entonces, al punto que los tabiques entre los huecos, no bajaban de dos centímetros de espesor de un material mal cocido. Otros equipos necesarios eran totalmente desconocidos y la posibilidad de su uso jamás imaginada, aún por personas de alta responsabilidad tanto en la obra como en su utilización posterior.*’

VII.11.4.- La Ponencia del Profesor Luis Esteva en Julio de 1967

Con ocasión de las II Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural y III Simposio Panamericano de Estructuras celebradas en Caracas del 3 al 8 de julio de 1967, el profesor Luis Esteva de la UNAM, México, expuso el contenido de un novedoso trabajo en el cual se establecían los criterios para la construcción de espectros para el diseño sísmico (Esteva, 1967). Esa ponencia cobró vigencia tres semanas más tarde, pues el día 29 de ese mismo mes sucedió el terremoto de Caracas.

Para adelantar los espectros correspondientes a distintos porcentajes de amortiguamiento, en un determinado sitio, el método requería el conocimiento de las características de los temblores que pudiesen afectar el lugar, así como las probabilidades de su ocurrencia. En el caso de Caracas la información sísmológica y tectónica disponible, para esas fechas era muy escasa; con relación a registros acelerográficos, inexistente (**Nota 22**).

VII.11.5.- Primeras Investigaciones de Günther Fiedler

En su estudio sísmológico sobre el terremoto de Caracas, el sísmólogo Günther Fiedler evaluó el registro obtenido en un sismoscopio instalado en el Observatorio Cajigal (Fiedler, 1968). Este, conformado por una pequeña esfera metálica dispuesta sobre un casquete esférico de vidrio ahumado fijo a su base, tenía un período fundamental de 0.7 seg y un amortiguamiento de 2.9% referido al crítico, ambos determinados experimentalmente. Con base en el análisis de la respuesta de ese equipo, Fiedler obtuvo una aceleración en roca igual a 11.7 gal, que por ser: “...*un período relativamente largo...*”, alcanzó: “...*aceleraciones bajas.*”.

Con base a otras inferencias hechas por ese autor, en su Figura 20 titulada: “*Espectro estimado de la aceleración del suelo (sobre esquisto) del terremoto de Caracas, derivado del registro sismoscópico*”, la máxima aceleración espectral en suelo firme habría sido del orden de 80 gal (0.08g) para períodos inferiores a 0.4 seg (Fiedler, 1968, p. 190); esto explicaría que: “*Casas estables y edificios no sufrieron daños de importancia, cuando fueron construidos sobre roca natural.*” Además: “*Sobre las calderas rellenas con aluviones de 20 a 120 metros de espesor, los daños han sido graves y cuatro edificios altos cayeron por completo...*” (Fiedler, 1968, p. 192). Sobre el tema de los movimientos máximos del terreno, el mismo autor publicó sus resultados un año después (Fiedler, 1969b).

VII.11.6.- La Propuesta Abenante-Grases

El vacío que dejó la Norma MOP Provisional de 1967, fue la motivación de un estudio emprendido por los ingenieros Francisco Abenante y José Grases con el objetivo de anticipar las características principales de los movimientos sísmicos en el Valle de Caracas. Se recomendaron allí espectros de respuesta para los análisis dinámicos correspondientes a cuatro tipos de estructuras y los dos tipos de suelos establecidos en la citada norma MOP Provisional (Abenante y Grases, 1969).

Tomando en consideración la ausencia de estudios en el área, se revisó la literatura conocida, esencialmente sintetizada en la citada ponencia de Esteva (1967), así como en un estudio anterior de Rosenblueth y Esteva (1964). La cuantificación de los movimientos máximos del terreno requería la selección de 'sismos de diseño' que, incertidumbres aparte, para la región de Caracas arrojaron valores medios iguales a: 0.17g, 17.9 cm/seg y 47.4 cm (Nota 23).

VII.11.6.1.- Influencia del Subsuelo

Para la construcción de los espectros de respuesta elástica en diferentes tipos de subsuelo, en el trabajo que aquí se comenta se explicó la revisión de posibles metodologías a ser empleadas, fundamentalmente basadas en la relación de densidades y constantes elásticas entre: la capa supra-yacente y la sub-yacente. Los espectros de respuesta elástica que finalmente fueron propuestos en el trabajo que aquí se comenta, quedaron definidos por los parámetros que se dan en la **Tabla VII.3**. Corresponden a amortiguamientos entre 5% y 7%, tanto para los suelos firmes de dureza intermedia como para los suelos blandos.

Tabla VII.3 Valores Propuestos para los Espectros de Respuesta Elástica en: Abenante y Grases (1969)

Subsuelo Tipo	Dureza Intermedia ($T_0 = 0.5$ seg)		Aluvión (Suelo Blando) ($T_0 = 1.0$ seg)	
	$T \leq 0.5$ seg	$T > 0.5$ seg	$T \leq 1.0$ seg	$T > 1.0$ seg
Rango de Períodos				
Ordenadas del Espectro Elástico⁽¹⁾	$0.167g \times 1.92 = 0.32g$	$0.16g/T$	$0.116g \times 2.16 = 0.25g$	$0.25g/T$

(1) No se establecieron límites para los rangos de períodos ni menores, ni en exceso de T_0 .

VII.11.6.2.- Espectros de Diseño

Luego de una presentación sobre las razones por las cuales algunas estructuras podían estar en capacidad de incursionar en el rango inelástico, en el trabajo que aquí se revisa se dedicó atención al tema de la tipificación estructural. Se analizaron los criterios aprobados por SEAOC (1967), según los cuales los coeficientes sísmicos de diseño quedaban afectados por un factor multiplicador **k**, tanto menor cuanto más dúctil fuese el sistema estructural; la 'ductilidad', se describió como una medida de la capacidad de absorber y disipar energía de la estructura sin reducción en su resistencia a las fuerzas laterales. Se indicó allí que: "*Los valores de ductilidad propuestos no están respaldados por estudios analíticos o experimentales. No obstante, tomando en consideración las prácticas constructivas usuales en nuestro medio y las exigencias de diseño vigentes en el ámbito del concreto armado, ha parecido oportuno sugerir valores algo menores que los inferidos del SEAOC*".

VII.11.6.3.- Factor de Reconciliación

Por último, en el trabajo de Abenante y Grases se advirtió que para las fechas en las cuales se propusieron los valores del factor de ductilidad, los criterios que se aplicaban en el diseño de estructuras de concreto armado eran propios de la teoría clásica (esfuerzos admisibles); es decir, no eran congruentes con los niveles de incursiones inelásticas implícitas en la reducción por ductilidad. Por tal razón, resultaba pertinente reconciliar las solicitaciones por sismo -obtenidas a nivel cedente- con los criterios de diseño basados en esfuerzos admisibles, incorporando el incremento en capacidades de 1.33 % cuando se tratase de solicitaciones combinadas con sismo.

En la obtención del factor de reconciliación se supuso que la relación de capacidades: (teoría en estados límites)/(teoría clásica x 1.33) = (1.9)/(1.0x1.33) ~ 1.4.

Dado que entre la Norma MOP Provisional de 1967 y la primera Norma COVENIN 1756 del año 1982 que la sustituyó transcurrieron 15 años, la reconciliación anterior ha sido empleada en la revisión de algunos proyectos.

VII.11.7.- Otros Estudios y los Espectros de las Normas

En el proyecto de las Torres del Parque Central, los ingenieros proyectistas Mario Paparoni y Sergio Holoma adoptaron formas espectrales representativas de depósitos aluvionales de 70 m de espesor, bajo la acción de diferentes sismos posibles. De ellos, el más desfavorable resultó ser un sismo máximo con una magnitud estimada en 7.6 y epicentro a 40 km de distancia (Paparoni y Holoma, 1976).

Los formatos empleados en las Normas COVENIN 1756 versión 1982 y versión vigente 2001, diferencian claramente los suelos en función de sus características geotécnicas. Las primeras que se adoptaron en la versión 1982, se encontraban esencialmente sustentadas por estudios del profesor Celso Tulio Ugas (Ugas, 1974; 1981; 1982) quien realizó su tesis de Maestría sobre ese tema (Grases y Ramirez, 2009)

En futuras versiones de la citada Norma, seguramente se podrán incorporar formas espectrales sustentadas con la estadística de registros de sismos venezolanos

VII.12- INGENIERÍA SÍSMICA FORENSE

Aún cuando el calificativo 'forense' es más restringido, se aplica aquí en el sentido de investigaciones hechas en el sitio y evaluaciones posteriores, realizadas por profesionales en áreas afectadas por sismos. En particular interesa destacar aspectos relacionados al desempeño de estructuras, su configuración y detalles de los miembros portantes, así como la relación con la intensidad probable de las acciones externas.

VII.12.1- Introducción

Vista por algunos como una nueva disciplina, en un país como Venezuela donde 2 de cada 3 habitantes ocupa áreas bajo la amenaza de los sismos, esta especialidad forma parte de la Ingeniería Estructural. De hecho, en la enseñanza de la Ingeniería Civil, los efectos de fenómenos naturales catastróficos como fueron el terremoto de Caracas del año 1967 y los deslaves de Vargas en 1999, han influido marcadamente en la estrategia preventiva que se imparte en las Universidades. El primero se trató en la **Sección VII.10** de este **Capítulo**.

La mejor ilustración de la naturaleza novísima de esta especialidad, la señaló el profesor Charles Richter en su libro *Elementary Seismology*, publicado en 1958, según se explicó en la **Sección VII.1**. Tal como se indicó allí varios sismos destructores de finales de

los 50 e inicios de los 60, dispararon las alarmas de los organismos internacionales de asistencia, lo cual dio inicio al envío de Misiones Técnicas Multinacionales para recabar más información sobre las lecciones de los sismos (**Nota 24**).

VII.12.2.- Algunos Hitos en Venezuela

VII.12.2.1.- Pre-1939

Con anterioridad al siglo XX la ingeniería estructural tenía un desarrollo muy limitado en el país. La seguridad de las edificaciones se confiaba a la calidad de las técnicas constructivas. Es digno de mención el interés del profesor Adolfo Ernst por los problemas sísmicos. Su inquietud por el tema, lo llevó a realizar trabajos de campo en áreas afectadas por el sismo del 12 de Abril de 1878 que arruinó Cúa; las observaciones que recabó a lo largo de ese trabajo pionero, fueron publicadas aquí y en el exterior. Igualmente, no puede ignorarse en esta relación, la publicación el año 1898 en México, de un mapa de zonificación sísmica de la región de Venezuela; este, elaborado por Montessus de Ballore, se conoció en Venezuela casi un siglo después de su publicación, razón por la cual no alcanzó a tener influencia alguna en la toma de decisiones entre nosotros. Tampoco tuvo mayor trascendencia en los temas que aquí se tratan, los registros de sismos obtenidos en el Observatorio Cajigal, fundado en 1889; esto, hasta que Günther Fiedler inició la interpretación de dichos registros sismográficos a mediados de la década de los años 50.

Sin embargo y tal como se explicó en la **Sección VII.2**, sí ha trascendido en la sismología venezolana el hecho de que el sismo del 29 de Octubre de 1900, con epicentro frente a Cabo Codera, quedase registrado en la primera red sismográfica de cobertura global, instalada por John Milne en los últimos años del siglo XIX. El mapa de isosistas circulares que publicó Centeno en 1900 isosistas, fue menos realista que el publicado en Europa por Sievers el año 1905, basado exclusivamente en información epistolar; este geólogo situó el epicentro más cerca a las localidades más afectadas, como fueron Guarenas-Guatire y el ferrocarril de Carenero pero, su forma elíptica, parece ser más consistente con mecanismos focales propios de la tectónica que hoy conocemos sobre esa parte del país (**Figura 1**).

VII.12.2.2.- Compilaciones de Sismos Pasados y Normas Hasta 1955

A finales del siglo XIX se publicaron algunas compilaciones sobre sismos que en tiempos históricos afectaron nuestro territorio, desde 1530 en adelante. Destaca entre ellas la del ingeniero Melchor Centeno Graü (1867-1949) publicada por vez primera en 1940 y en una segunda edición post-mortem que recogió las adiciones al texto mencionado (Centeno, 1969) (**Nota 25**)

En adición a la compilación de las descripciones de sismos en el país se publicaron algunos artículos con recomendaciones generales y precauciones constructivas a seguir para asegurar la resistencia a eventuales sismos, especialmente válidas para edificaciones de una planta (véase la **Sección VII.6**). No se tiene conocimiento de que estas propuestas publicadas hasta fines de los años 30 llegasen a tener influencia práctica y tampoco se reflejaron en las normas sísmicas del momento.

Aparte de catálogos contentivos de la descripción de los efectos de sismos, así como de recomendaciones generales, no se puede hablar de Ingeniería Sismo-resistente en el sentido preventivo, hasta las iniciativas del ingeniero Alberto Eladio Olivares y sus colegas en el Ministerio de Obras Públicas (MOP). La inquietud por uniformar los criterios de cálculo y construcción por parte de los profesionales activos en ese Ministerio, cuya área de

acción se fue ampliando a todo el país, dio pie a las primeras Normas del MOP: en 1938 el *Proyecto de Normas para la construcción de edificios* y en 1939 las *Normas para el cálculo de edificios*. El primero de esos documentos, revisado, aumentado y corregido, se publica en 1945 bajo el título: *Normas para la Construcción de Edificios*; el segundo, revisado y ampliado, se dio a la luz en 1947.

Conocidas como Normas MOP de 1955, ya tratadas en la **Sección VII.8.3**, este documento extendió su alcance al: concreto armado, acero, viento, fundaciones y otros; su primera impresión fue la de noviembre de 1959.

VII.12.2.3.- Inicio de Información Sismológica sustentada en Registros del País

Por invitación del doctor Eduardo Röhl, Director del Observatorio Cajigal, hacia el año 1955 llega al país el joven sismólogo Günther Fiedler para encargarse de la interpretación de los registros de instrumentos instalados en esa institución. Buen instrumentista, la tesis de grado de Fiedler en la Technische Hochschule de Stuttgart versó sobre la sismicidad histórica del sud-oeste de Alemania (Fiedler, 1954) (**Nota 26**). En febrero de 1959, salen a la luz pública los primeros *Boletines Sismológicos del Observatorio Cajigal* cuidadosamente revisados por Fiedler; estos mantuvieron rigurosa continuidad hasta el año 1972.

VII.12.3.- La Ingeniería Sísmica Forense

La infrecuencia de los sismos en una determinada región y la necesidad de lograr una estrategia preventiva adecuada para ajustarse al rápido crecimiento de los centros urbanos a nivel mundial, dio origen a las Misiones de Estudio fomentadas por los gobiernos y por organismos de cooperación internacional. Esta se ilustra con una muestra de eventos de la década 1957-1967.

1957. Sismo de magnitud 7.9, el 28 de julio, con fuente en la zona de subducción del Pacífico, ocasionó daños en edificaciones altas ubicadas en un área limitada de Ciudad de México, posteriormente identificada como parte del antiguo lago Texcoco de esa capital. Dada la distancia focal, cercana a los 380 km, estos efectos representaron una situación novedosa que exigió la atención de sismólogos e ingenieros. Esto dio pie a los primeros espectros de período largo con fines de diseño propuestos por el Doctor Emilio Rosenblueth e incorporados años después en las Normas venezolanas (Rosenblueth et al., 1958; Rosenblueth y Esteva, 1964).

En los primeros días de octubre de ese mismo año, sismo de magnitud 6.7 en el oriente de Venezuela, seguido de numerosas réplicas sentidas: daños en Irapa, Río Caribe, Carúpano y localidades cercanas. Aún cuando se hizo trabajo de campo, este sismo no tuvo repercusiones conocidas en el ámbito profesional.

1960. El 28 de febrero, terremoto destructor en Agadir, Marruecos. 12 mil víctimas de un total de 36 mil habitantes. La American Iron and Steel Institute, envió una misión de campo cuyos resultados se publicaron en un muy cuidado texto que describe la geología de la región, así como el desempeño de diferentes tipos de edificaciones. Fue uno de los primeros trabajos de cooperación internacional en el dominio de la Ingeniería Sísmica Forense (AISI, 1962). El 22 de mayo de 1960, en la costa de Concepción, Chile, se registró el mayor sismo del siglo XX: magnitud 9.6. Generó un gran maremoto en el Pacífico. Entre sus consecuencias, dio pie para la instalación en ese océano, de la primera red mundial de mareógrafos para la alerta de tsunamis. Estos sismos y el que sigue de Macedonia, dispararon las alarmas de organismos internacionales de asistencia.

1961. Como se mencionó más arriba, en la historia de la especialidad que aquí se trata ese año se publicó la primera edición de la obra pionera: *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*, auspiciada por la Portland Cement Association (PCA), Illinois. Sus autores: J.A. Blume, N.N. Newmark y L.H. Corning, señalaron en la sección de agradecimientos de ese texto, que en la elaboración del mismo se empleó prolijamente el trabajo de muchos autores, investigadores y comités de organizaciones técnicas. Es el volumen que Richter anunció como necesario, a ser: "...escrito por otra mano".

1963. El 26 de julio, sucedió un terremoto destructor de magnitud 6.0 que afectó Skopje, capital de la actual Macedonia. Se reportaron 1000 víctimas. Se estimó que el 80% de las edificaciones sufrieron daños. UNESCO envió una Misión de expertos para estudiar este evento, iniciativa esta que marcó el inicio de la cooperación internacional en la Ingeniería Sísmica Forense (UNESCO, 1968).

1964. Este año ocurrieron dos sismos destructores que dejaron lecciones importantes. El del 28 de marzo, un sismo de magnitud en exceso de 8.6, sacudió la ciudad de Anchorage y puertos vecinos, en Alaska, con afectación de instalaciones petroleras por efectos vibratorios y por el subsiguiente maremoto; analizados los efectos de este sismo, que dejó un balance de 131 víctimas, se prestó mayor atención a la respuesta dinámica de grandes tanques metálicos de pared delgada empleados en el almacenamiento de agua contra incendios, petróleo, gasolina y otros líquidos. El segundo sismo de magnitud 7.5 sucedió en junio y causó importantes daños en la ciudad de Niigata, isla de Honshu en Japón; hubo allí importantes daños en puentes y edificaciones de varios niveles - volcamiento de varias de ellas- como consecuencia de fenómenos generalizados de licuefacción del terreno.

1965. Terremoto destructor el mes de marzo en Valparaiso, Chile, con un balance de 600 víctimas. En mayo de ese año, la capital de El Salvador, San Salvador, sufrió los efectos de un sismo moderado de magnitud 6.3. Por recomendaciones de la misión técnica, se adoptaron las Normas sísmicas vigentes en esas fechas para Acapulco, México. Este sismo es citado en la literatura, pues 21 años después, el 10 de octubre de 1986, un nuevo temblor de magnitud comparable, echó por tierra el edificio Rubén Darío que aparentemente había quedado afectado por el primero de los sismos; por las dimensiones de esta edificación, tipo de ocupación y hora del día del evento, el número de víctimas en este colapso fue considerable.

1966. Ese año hubo una seguidilla de sismos: en Toro, Uganda, magnitud 6.7, con un balance de 150 víctimas, más 90 adicionales como consecuencia de una réplica el mes de mayo; en agosto, la región de Varto-Usturkan, Turquía, sufrió un sismo de magnitud 6.9 que dejó 2600 víctimas y cien mil personas sin vivienda, y; en octubre, un maremoto en la costa central de Perú generado por un sismo de magnitud 7.5, dejó 100 personas entre víctimas y desaparecidos.

1967. Como consecuencia del llamado terremoto Cuatricentenario de Caracas del sábado 29 de julio, el desempeño de múltiples estructuras señaló: (i) *lecciones locales* que merecieron atención inmediata; (ii) *aspectos novedosos* de la respuesta de edificios de cierta altura. Entre las *lecciones locales* destacan las tres siguientes: (a) la influencia del subsuelo que dio origen a muy útiles investigaciones posteriores (**Nota 27**); (b) la trascendencia que en obras de concreto reforzado, muy bien ejecutadas y con buenas calidades del concreto, tuvieron importantes deficiencias de armado para asegurar ductilidades, y; (c) la inadecuada estrategia preventiva de la norma sísmica vigente (MOP,

1955) lo cual originó su sustitución inmediata por un documento, de carácter preliminar, la Norma Provisional del MOP de 1967 (**Nota 28**). A las lecciones anteriores se sumaron algunos *aspectos novedosos* consecuencia de la particularidad de este sismo: su duración e intensidad fue la suficiente para dejar, además de edificios derrumbados -4 en Los Palos Grandes y otros en número y altura menor, en la Urbanización Caribe de Caraballeda-, una treintena de edificios de cierta altura con daños estructurales. Estos mostraron en su respuesta a las vibraciones del terreno, los efectos de las particularidades o deficiencias que los conducían al desplome, estado que afortunadamente no llegó a alcanzarse. O sea, todo un ensayo a escala natural que, aún actualmente, a casi 45 años del temblor, es objeto de estudios con herramientas de análisis más poderosas (**Nota 29**).

La brevísima reseña anterior recoge algunos de los sismos destructores sucedidos en cuatro continentes entre 1957 y 1967. Puede considerarse como la etapa de motivación, entrenamiento o reconocimiento de esa amenaza de la naturaleza, especialmente en zonas urbanas. Además de la actualización de algunas normas, dio inicio a un fructífero intercambio de lecciones entre los profesionales que dedicaron tiempo a los trabajos de campo. Esto coincidió con las conferencias mundiales, la primera de las cuales se celebró en San Francisco con motivo del primer cincuentenario del terremoto que destruyó esa ciudad en 1906; con posterioridad se han celebrado cada 4 años, en sedes situadas en todos los continentes.

VII.13.- PROBLEMAS PENDIENTES

Aún cuando la celebración de Congresos, Simposia, Talleres y otras reuniones técnicas facilitan el frecuente intercambio entre Sismólogos, Geofísicos, Geotecnistas e Ingenieros Estructurales (véase el **Anexo C1**) aún quedan problemas por resolver, algunos de los cuales se anotan a continuación.

VII.13.1.- Movimientos Fuertes del Terreno y Espectros

Antes del Terremoto Cuatricentenario de Caracas en 1967, no se tiene conocimiento de que haya habido registros de movimientos fuertes del terreno en Venezuela. El sismo del 29 de julio de 1967 solo fue registrado con un sismoscopio ubicado en el Observatorio Cajigal, el cual pareciera señalar que la componente N-S fue más intensa que la E-W. (**Nota 30**). La norma Provisional MOP (1967), promulgada pocos meses después del sismo no dejó resuelto el problema de la selección de los espectros de diseño para los casos en los cuales las fuerzas inerciales podían determinarse por procedimientos dinámicos.

El 20 de setiembre de 1968, en Caracas se sintieron los efectos de un sismo de magnitud 7.2 con foco de profundidad intermedia en la zona de Paria. En localidades cercanas como Güiria, Río Caribe, Yaguaraparo y zonas aledañas, hubo daños. Fue sentido en una amplia extensión del país. En Caracas fue registrado por un conjunto de instrumentos que el USGS había dispuesto para el registro de réplicas del terremoto de Caracas del año anterior. Su objetivo era el de evaluar posibles patrones de amplificación de los movimientos del terreno. Sus resultados fueron expuestos en la quinta Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, Roma (Espinosa and Algermissen 1972).

VII.13.2.- Sismos Distantes

El 19 de Marzo de 1953 en Ciudad Bolívar se reportó un temblor ‘fuertemente sentido con desplazamiento de objetos’, durante al menos dos minutos. Años después, la coincidencia de fecha y horas permitió asociar ese evento a un sismo de magnitud 7.5, con foco a 135 km de profundidad y epicentro cerca de la costa occidental de la isla de Santa Lucía en las Antillas Menores. Este fue uno de los varios sismos asociados al arco de las Antillas Menores estudiados por J. Dorel en su trabajo sobre grandes sismos que afectaron ese arco de islas (Dorel, 1981). Se planteó como interrogante la muy baja atenuación para que un foco a más de 700 km de distancia alcanzase a sentirse en forma tan intensa por la población del estado Bolívar (**Figura 5**).

Otros casos de temblores fuertemente sentidos en Ciudad Bolívar en el lapso 1940-1928 se dan en la **Tabla VII.4**. De los cuatro eventos reportados, el del año 1940 tuvo su foco en la zona de subducción del arco antillano.

Tabla VII.4
Temblores Fuertemente Sentidos en Ciudad Bolívar (1940-1928).
En Números Romanos se el Grado da la Intensidad de Mercalli (IMM)

Fecha	Observación
05-07-1940	‘Fortísimo’ sismo sentido en Ciudad Bolívar. Se grietaron casas. Probablemente asociado al sismo dado por Gutenberg de magnitud 6.5, epicentro en 13°N-61.25°W, foco a 160 km de profundidad. Este fue reportado como fuertemente sentido en las islas caribeñas de Saint Lucía (Castries) y en Saint Vincent.
04-12-1929	Fuertemente sentido en Ciudad Bolívar, de corta duración.
19-10-1929	Fuerte temblor sentido en Ciudad Bolívar 11:20 PM, Soledad, fuerte en Trinidad y sentido en British Guiana el día 20 a las 00:05. Para esas fechas el volcán Mont Pelee, Martinica, se encontraba en erupción
27-09-1928	Fuerte temblor en Ciudad Bolívar a las 8:30 PM que abarcó una gran extensión del estado Bolívar. A las 8:45 PM se reporta en Bridgetown, Barbados, agrietamiento en muros de mampostería. Hubo algunos daños en esa isla (IMM=VII según Robson). Para las islas de Saint Lucie, Saint Vincent y Trinidad, IMM = V. Un grado menos para Martinique, Grenada y British Guiana donde se sintieron 3 temblores. Gutenberg asigna M = 6.5, epicentro en 12°N-60°W, y foco superficial

El 29 de noviembre de 2007, un nuevo evento sísmico con epicentro más septentrional, entre Martinica y Dominica, de magnitud 7.4 y foco de profundidad comparable, 143 km, fue fuertemente sentido en la región de Guayana-Ciudad Bolívar. Percibido durante más de dos minutos en sectores como: Puerto Ordaz, Guri, Caruachi, Macagua y Altavista, en esta oportunidad la información descrita quedó acompañada por registros instrumentales de la red acelerográfica que opera CVG-EDELCA en el bajo Caroní (Morales et al., 2007). Este evento quedó registrado con los siguientes máximos de aceleración horizontal a las distancias focales R que se indican: 36.6 gal (estación Los Olivos, campo libre, Macagua, R = 752 km); 180.3 gal (estación CAR 0, ¿cuerpo de la

presa de concreto?, Caruachi, R = 770 km); 67.6 gal (estación GUR 6, tramo 5 Presa Derecha, Guri, R = 817 km). En la **Tabla VII.5** se comparan ambos eventos.

TABLA VII.5 COMPARACIÓN DE SISMOS CON FUENTE EN LAS ANTILLAS MENORES. EFECTOS CONOCIDOS EN GUAYANA

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

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

VII.13.3.- Secuencias de Sismos

La extensión del área afectada por 'el' terremoto de 1812 fue un fenómeno interpretado por el doctor Centeno Graü como un sismo triple con áreas epicentrales en: Caracas-La Guaira; San Felipe-Barquisimeto; y Mérida. Más recientemente, Altez (2005; 2009) encontró evidencias según las cuales el sismo de Mérida habría sucedido una hora después del de Caracas-La Guaira; sobre el área de San Felipe-Barquisimeto no se cuenta con información relativa a la hora de ocurrencia.

Ya con sustento instrumental, el 03 de agosto de 1950 a las 5:50 PM sucedió un sismo de magnitud 6.2-6.4, el cual ocasionó daños en El Tocuyo donde se reportaron 8 víctimas y 60 heridos. Los daños también fueron importantes en localidades predominantemente ubicadas hacia el sud-oeste de El Tocuyo. Los efectos de este evento fueron estudiados por Comisiones de profesionales enviados desde Caracas. En los informes de los trabajos de campo de Gabriel Dengo, así como de la Comisión enviada por el Instituto Nacional de Minería y Geología del Ministerio de Fomento, no se logró

identificar trazas visibles de fallas activas. Esta última Comisión estuvo constituida por los geólogos: A. Schwarck, L. Ponte, L. Miranda, J. Mas Vall y C. Ponte; como anexo al Informe, José Mas Vall elaboró un mapa de isosistas de ese temblor que fue el segundo elaborado en el país después del de 1900 del cual fue autor el doctor Centeno (Schwarck et al., 1950; Aguerrevere, et al., 1951; Mas Vall, 1950). En la prensa escrita se expresaron críticas sobre la demolición de construcciones de El Tocuyo, consideradas como patrimonio histórico, aparentemente con posibilidades de haber sido reparadas.

Ese sismo larense fue precedido el mismo día, a las 4:55 AM, por un evento con magnitud estimada en 5 y epicentro ubicado unos 340 km al SW, cercano a Cúcuta, donde se reportaron daños; también agrietó muchas viviendas en Colón y otras en Ureña y San Antonio. A su vez, ese sismo con epicentro en territorio Colombiano, fue precedido el 8 de Julio de ese año por un fuerte terremoto de magnitud 7 que afectó la región de Arboledas-Cucutilla-Salazar de Las Palmas, también en territorio Colombiano; su zona epicentral estuvo ubicada unos 44 km al SW del que afectó Cúcuta y Colón a las 4:55 AM del 3 de agosto.

El 17 de agosto de 1991 se reportaron sismos sentidos en una amplia región del centro-occidente del país, con epicentro cercano a Curarigua y moderadamente destructor en localidades del estado Lara: Curarigua, Carora, Aregue, Los Arangues y otras localidades (FUNVISIS, 1991; Lugo y Ferioli, 1991). En Barquisimeto se reportaron 100 viviendas dañadas. El primero de magnitud 5.0, ocurrió a las 02:18:21 hora local; el segundo de magnitud 5.4, a las 02:18:34 hora local, o sea 13 segundos más tarde, tuvo su epicentro unos 22 km al NE.

Esta secuencia de eventos sísmicos de cierta intensidad en el occidente-centro del país, de dos eventos cercanos en el tiempo y en su foco, es la primera vez que se logra diferenciar por su separación espacial y temporal. En la **Tabla VII.6** que sigue se recogen cuatro casos relativamente recientes que ilustran lo anterior. Además de las referencias anotadas, para la secuencia de los años 50, se puede consultar (Aguerrevere et al., 1951; Fiedler, 1961c; Ramirez, 1975a; Choy, 1988). En la última columna de la **Tabla VII.6** se anota la distancia epicentral entre el último y el penúltimo evento de la serie, así como el rumbo de la línea que une los dos epicentros. Las razones e implicaciones prácticas de secuencias como las anotadas en la tabla merecen atención.

TABLA VII.6 SECUENCIAS DE EVENTOS SÍSMICOS RUINOSOS EN EL OCCIDENTE - CENTRO DE VENEZUELA. LAPSO 1950-1991

FECHA	HORA LOCAL	ÁREA EPICENTRAL	M	DISTANCIA Y AZIMUT
1950-07-08	9:35	7.6N - 72.8W	7	(1)
1950-08-03	4:55	8.0N - 72.34W	~ 5	--
1950-08-03	17:50	9.74N - 69.83W	6.4	336km; N55°E
1967-07-29	6:24	6.84N - 73.09W	6.6	--
1967-07-29	20:00	10.60N - 67.30W	6.5	759km; N57°E
1975-03-05	9:55	9.13N - 69.87W	5.5	--
1975-04-05	5:35	10.08N - 69.65W	5.5	107km; N77°E
1991- 07-08	06:13:03	9.99N-69.99W	5	(2)
1991-08-17	02:18:21	9.98N -70.14W	5.0	--
1991-08-17	02:18:34	10.04N - 69.95W	5.4	22km; N72°E

(1) Epicentro situado en territorio Colombiano, 67 km al SW del siguiente. (2) Epicentro a 7 km al SW del último evento de esta serie.

VII.13.4.- Evaluación de la Confiabilidad y Riesgo Aceptable

En adición a la necesaria inclusión de las acciones sísmicas anotadas en la **Sección 7.4**, en nuestras normas vigentes se echa de menos la evaluación de la confiabilidad, problema en el cual intervienen muchas variables no controlables. Esto seguramente explica que, a más de 70 años de que hayan entrado en vigencia normativas para el diseño y construcción sismo-resistente, el proyectista generalmente ignora la confiabilidad asociada a sus proyectos u obras construidas (Tema comentado en el **Capítulo X**).

De las múltiples acciones sísmicas que pueden conducir al estado de ruina o inestabilidad de edificaciones o instalaciones, en la **Tabla VII.7** se anotan algunos de los mecanismos más frecuentemente observados. Estos, esencialmente consecuencia de la acción vibratoria, se han agrupado según el cumplimiento o no de criterios normativos predominantes.

TABLA VII.7
DESCRIPCIÓN DE MECANISMOS QUE HAN SIDO EL ORIGEN DE ESTADOS DE RUINA DEBIDO A VIBRACIONES GENERADAS POR SISMOS

Obras que Incumplen Criterios Normativos Predominantes	Obras en las cuales se Considera que se han Incluido Criterios Normativos Predominantes
<i>Formación Prematura de Mecanismos:</i> (i) por la resistencia insuficiente de columnas respecto a las vigas; (ii) interacción con la tabiquería; (iii) punzonado de losas de piso.	<i>Formación de Mecanismos por Demanda Excesiva de Ductilidad:</i> (i) intensidad sísmica excede los valores normativos; (ii) sistemas de hiperestaticidad limitada.
<i>Falta de Resistencia :</i> (i) materiales; (ii) uniones débiles entre los elementos portantes; (iii) detalles deficientes del armado; (iv) secciones insuficientes.	<i>Interacción con la Tabiquería Modifica la Respuesta Estructural:</i> (i) efectos de torsión; (ii) discontinuidades en la resistencia y/o rigidez.
<i>Flexibilidad Excesiva:</i> (i) secciones de poca inercia; (ii) efectos de segundo orden.	<i>Choque entre Edificaciones Adyacentes:</i> (i) omisión de los efectos de rotaciones a nivel de base; (ii) edificaciones adosadas con alturas diferentes.
<i>Sistemas Inadecuados de Fundación.</i>	<i>Amplificaciones no Incorporadas en las Normas:</i> (i) suelos; (ii) topografía.

En forma esquemática, la confiabilidad se puede expresar como el complemento de la siguiente sumatoria:

$$\sum_i P [R/a \in \Delta A_i] \times P[a \in \Delta A_i] \quad (8.1)$$

donde: ΔA_i representa rangos finitos de la variable **a**, la cual caracteriza la acción sísmica considerada, y **R** es un estado de ruina o desempeño indeseable. El multiplicador de los términos de la sumatoria -probabilidad de que el valor de **a** esté comprendido en ΔA_i - debe ser representativo de la amenaza en el sitio considerado. Cualquiera que sea la acción sísmica considerada, en la evaluación de esa probabilidad la historia sísmica conocida representa un elemento de información insustituible.

Notas

Nota 1. El embajador en Londres de la recién decretada República de Venezuela, López Méndez, negó por la prensa que hubiese habido un terremoto en Caracas. Un mes después el Capitán Cuthbert del barco Highlander que estaba anclado en La Guaira para el momento del terremoto, describió la destrucción y desesperación de la población bajo la acción del prolongado temblor (*The Times*, London, N° 8616, reproducido en: Grases, 1970).

Nota 2.- Por Decreto Ejecutivo de fecha 8 de septiembre de 1888, se resolvió la construcción de un observatorio astronómico ubicado en la Loma Quintana, parte más alta de la colina del Calvario de la ciudad de Caracas. Esta decisión, homenaje a Juan Manuel Cajigal, fue acompañada poco después por la donación a la nación del telescopio ecuatorial con su cúpula y accesorios, propiedad del Señor Henry Lord Boulton, equipo instalado en su casa de habitación ubicada en la esquina de El Conde (Urbina, 1965, p. 101-102).

Nota 3. Esto explica que pocos años después y salvando limitaciones idiomáticas, Fiedler presentó un novedoso trabajo sobre los grandes sismos destructores de Venezuela de obligada referencia durante muchos años (Fiedler, 1961 a; 1961 b; 1961 c).

Nota 4. Entre esos escritos, celosamente custodiados por su familia, destacó el nuevo mapa de zonas sísmicas, la actualización del catálogo y una nueva Tabla 0. En agosto de 1969 la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales publicó, como volumen 8 de su colección, la segunda edición del libro del doctor Melchor Centeno Graü. Esto se logró gracias a la iniciativa del doctor Guillermo Zuloaga, individuo de número de esa Academia, quién tenía conocimiento del trabajo inconcluso que había dejado el doctor Centeno Graü cuando falleció en Octubre de 1949. Esos textos, nunca se habían hecho públicos. Se descubrió allí y se conoció por vez primera, el mapa de zonificación en el cual venía trabajando el doctor Centeno cuando lo sorprendió la muerte; en dicho mapa, Caracas quedaba incluida entre las zonas de mayor peligro sísmico del país, lo cual hubo que reconocer con posterioridad al terremoto de 1967.

Nota 4A.- Para el mes de octubre de 1900 la urbanización El Paraíso, ubicada al oeste de la ciudad, había comenzado a poblarse. El terremoto del 29 de ese mes ocasionó daños en algunas viviendas de la capital, así como en varias iglesias. Como medida preventiva se construyeron casas a prueba de temblores bajo la dirección del ingeniero Alberto Smith. Estas casas sustituyeron el bahareque, que se consideraba muy seguro contra temblores: "...por hierro, cemento y techos metálicos". "*Entre las primeras casas aparecen las de Carlos Zuloaga, Raimundo Fonseca, Pedro Salas, Bartolomé López de Ceballos, Aureliano Fernández y José Loreto Arismendi*" (Nuñez, 1966, p. 196).

Nota 5. En Diciembre de 1857 sucedió el sismo frecuentemente citado como: "...gran terremoto de Nápoles..." que afectó el Reino de Nápoles, con un balance cercano a 12 mil víctimas. Mallet desarrolló métodos propios para recoger información en el campo, dibujó daños típicos, adelantó interpretaciones sobre sus causas, todo lo cual fue recogido en dos gruesos volúmenes (Mallet, 1862). Los terremotos destructores de México (1957), Agadir (1960), Chile (1960), Skopje (1963), Alaska (1964), etc., dieron pié al inicio de las Misiones de Cooperación Técnica; sobre las 24 que organizó UNESCO hasta 1985, véase a Sarria (1986).

Nota 6. Este mapa de Montessus no fue conocido en el país sino hasta entrados los años 90 del siglo XX, por tanto no tuvo influencia en la preparación de los mapas de zonación sísmica que se fundamentaron exclusivamente en los efectos conocidos de sismos pasados como fueron los de las Normas MOP (1947a) y MOP (1955). Para la región de Caracas, en esos mapas solo se exigía diseñar para un 50% de las solicitaciones prescritas, por ejemplo, para Cumaná, capital de estado que siempre quedó ubicada en la zona de mayor peligrosidad sísmica del país

Nota 7. Los resultados de evaluaciones hechas sobre las secuencia de acumulación y liberación de energía sísmica en modelos simplificados de los sistemas de fallas activas que van desde Cúcuta hasta Güiría, a lo largo de los últimos 240 años, han sido publicados; para ello se emplearon correlaciones entre la magnitud Richter y el momento sísmico. De este modo se obtuvieron

velocidades de desplazamiento algo menores que 10 mm/año para que los momentos sísmicos potenciales acumulados en el sistema, no excediesen los máximos capaces que adelantan los geólogos y sismólogos con arreglo a las segmentaciones de fallas propuestas (Grases et al. 1996; Grases, 2002).

Nota 8.- John Milne, también llamado padre de la Sismología, a fines del siglo XIX llamó la atención repetidamente sobre la necesidad de medir los movimientos del terreno con base a registros instrumentales (véase por ejemplo la biografía de: Herbert-Gustar and Nott, 1980). En Japón, donde vivió una parte importante de su formación como sismólogo, se prestó particular atención a esta recomendación.

Nota 9.- A lo largo de la última década han sido más frecuentes los estudios de sitio en Venezuela, acompañados por cuidadosos trabajos de campo, particularmente cuando se trata de obras de importancia excepcional. La omisión de tales estudios ha sido dramáticamente ilustrada por los efectos de terremoto de Chi-Chi (Taiwan) del 20 de Septiembre de 1999: el desplazamiento cosísmico de la falla de Chelungpu, ubicada al noroeste de la isla, destruyó, entre otras, una gran represa de concreto (con un salto de falla de 9m vertical y 2 m horizontal), un puente elevado de varios tramos (con un salto de la misma falla de 7 m vertical), torres de alta tensión, etc. (Teng et al, 2001).

Nota 10. Con frecuencia se ha sospechado sobre la exageración que pudiesen acompañar las descripciones sobre las alturas e incursiones tierra adentro de los maremotos o tsunamis. En el trabajo de Wiegel (1976), se destaca la importancia de la topografía del fondo marino, especialmente si se trata de bahías cerradas. Viene al caso citar las mediciones hechas en la isla de Okushiri, situada en el mar del Japón, afectada por el maremoto asociado al sismo de Hokkaido-Nansei-Okai (Julio de 1993), magnitud 7.8. El valor modal de la altura de las olas registradas en 15 estaciones mareográficas instaladas en esa isla, está entre 5 y 6 metros; en la bahía de Nonkai, muy cerrada y de costa escarpada, la altura de la ola medida alcanzó 30.5 metros (Butcher et al., 1993).

Nota 11. De acuerdo con el mapa de riesgos naturales a escala mundial publicado por la Münchener en el año 2000, la costa venezolana amenazada por maremotos se extiende desde las cercanías de Cumarebo al occidente y por el oriente hasta la parte norte del delta del Orinoco, incluida la costa norte de Margarita. Esta extensión es mayor que la de mapas anteriores de la misma autoría y, a su vez, mucho mayor que el tramo La Guaira - Cumaná donde se ubican las localidades históricamente afectadas por estos fenómenos según descripciones conocidas.

Nota 12. Por coincidencias de fecha y hora, el seiche de Agosto de 1868 seguramente tuvo su origen en el gran terremoto de la costa pacífica, con epicentro cerca de la actual frontera Perú-Chile (Kausel, 1986; Von Höchsteter, 1868; 1869). El segundo evento conocido como terremoto de Tumaco, Enero de 1906, también tiene su epicentro en el pacífico, cerca de la costa fronteriza Colombia-Ecuador (Rudolph und Szirtes, 1911; Ramírez, 1975a); a este evento, Richter (1958) le asigna magnitud 8.9 y, más recientemente ACIS (2009) le asigna magnitud 9.3. En ambos casos, Centeno Graü cita diversos cuerpos de agua venezolanos afectados: río Catatumbo, Lago de Maracaibo y otros para el sismo de 1886. Para el evento de 1906 extiende los efectos hasta Caño Colorado, ubicado en el mapa de la edición de Centeno de 1940, como afluente de la margen derecha del río San Juan, cerca de su desembocadura en el golfo de Paria.

Nota 13. Este fenómeno ha sido reportado a grandes distancias. Por ejemplo, como consecuencia del terremoto de Lisboa de Noviembre de 1755; de acuerdo con los reportes de Montessus (1906), Reid (1914) y Kvale (1955), este fenómeno perturbó masas de agua en: Irlanda, Escocia, la Península Escandinava y en Europa oriental hasta distancias de unos 4000 kilómetros; véase el mapa que da Richter (1958 p. 105).

Nota 14. Es oportuna la ocasión para adelantar un breve comentario sobre la denominada 'microzonificación', especialmente en zonas ya urbanizadas. Su justificación se ha sustentado en la constatación de efectos de tipo selectivo en sismos pasados, consecuencia de marcados cambios en las formas espectrales; entre ellos se citan los de: México (1957 y 1985), Caracas (1967), Gediz (1970), Managua (1972), Popayan (1983) y otros más recientes. El reconocimiento de este

fenómeno, respaldado por un número creciente de registros instrumentales, se ha incorporado en las Normas para el diseño Sismo-resistente desde finales de los años 60 en forma cada vez más refinada. Para la selección de los espectros de diseño y la verificación de la seguridad, la caracterización del terreno basada en procedimientos geofísicos generalmente es complementada con los ensayos tradicionales de suelos para alcanzar un nivel de confianza adecuado. Esta es una de las razones que ha limitado las inversiones hacia la microzonificación, especialmente de áreas ya urbanizadas.

Nota 15. Según testimonio de colegas tachirenses, sobre o muy cercano a ese campo-santo, se ha desarrollado un nuevo barrio marginal igualmente amenazado por eventuales deslizamientos en el área.

Nota 16. Nuevos estudios sobre ese terremoto, conducen a pensar en que no se trató del río Yurubi, sino de otro situado más al este.

Nota 17. Una de las mayores catástrofes sufridas en sud-América durante el siglo pasado, ocurrió en Perú. El terremoto de mayo de 1970, magnitud 7.8, ocasionó la pérdida de estabilidad de una laguna natural formada por deshielo en la Cordillera Blanca de los Andes, a más de 5000 m de altura. Esto generó un macro-deslizamiento de millones de toneladas de material que alcanzó velocidades de más de 600 km/hora, deslizándose sobre un colchón de aire (Lliboutry, 1970). En pocos segundos borró del mapa el pueblo de Yungay (20 a 22 mil personas); el total de víctimas de este evento catastrófico fue estimado entre 45 y 55 mil. En las memorias de O'Leary se citan eventos similares de inicios del siglo XIX, llamados **huaycos**.

Nota 18. La Figura 3 revela que la dirección predominante del movimiento del terreno fue norte-sur. Esto es concordante con los resultados de estudios recientes hechos en el área de Los Palos Grandes (Urich y López, 2009). Los análisis dinámicos hechos en este último trabajo adoptaron la forma espectral de suelos blandos (tipo S3) de la Norma COVENIN 1756:2001.

Nota 19. La ruina del edificio Miramar de 7 niveles ubicado en Cumaná, a unos 75 km del epicentro del terremoto de Cariaco del 09-07-1997, $M = 6.9$, proyectado hacia 1978 con esas Normas MOP (1967) vigentes en ese momento, fue consecuencia de agravantes propios del sitio de fundación y de su estructuración no mencionadas en la Norma del año 1967 y que en Normas COVENIN más modernas (1982 y 2001) han sido fuertemente penalizadas.

Nota 20.- Entre las contribuciones originales de Suyehiro, se ha citado el diseño y construcción de un 'analizador de vibraciones sísmicas' de 13 canales. Cada canal del citado analizador, quedó definido por su período propio de vibración: estos cubrían un rango de valores entre 0.22 seg y 1.81 seg, con amortiguamientos referidos al crítico, similares. Por tanto este registrador permitía conocer 13 valores de lo que, una vez graficados, mostraban el período dominante de las condiciones locales y el máximo de la respuesta de cada oscilador. Un ingenioso antecesor de los análisis espectrales de acelerogramas, hoy herramienta fundamental en la moderna ingeniería sismo-resistente. Debe destacarse aquí, que el ingeniero S.E. Aguerrevere estudió esa publicación y presentó en sesión del CIV un resumen de aspectos relevantes para nuestro medio en el citado trabajo: una de las muchas pruebas sobre como nuestros profesionales estaban interesados en mantenerse informados (Aguerrevere S.E., 1932).

Nota 21.- Con relación al coeficiente sísmico de diseño, en las páginas 40 a 42 de su texto, el doctor Pardo Stolk anota: "*...se reduce por razón de...el efecto de amortiguación de la estructura y también de la fundación, que disipa la energía en el suelo...y, por último, la variación del período del terremoto y de su amplitud reducen el efecto de la resonancia*". Más adelante señala: "*...es evidente que en el caso de un terremoto, la única estructura que interesa que esté totalmente en servicio en el cuarto de hora siguiente al sismo, es un hospital*".

Nota 22.- Entre los primeros datos que se reportaron en los primeros años posteriores al sismo hay dos eventos: el temblor del 01 de febrero de 1968, magnitud 4.6, sobre el cual hubo registros acelerográficos en una estación en roca ubicada en el Observatorio Cajigal y en 1972 el sismo de La Tortuga, estudiado por Arcia (1975).

Nota 23.- Obsérvese que las varianzas que actualmente se consideran representativas de las regresiones medias de atenuación de aceleraciones, duplican los valores medios de la aceleración si se selecciona una probabilidad de excedencia asociada a la media más una desviación estándar. Sobre esa 'envolvente promedio de los movimientos máximos del terreno' se elaboraron espectros de respuesta elástica para amortiguamientos de 0%, 5% y 7%.

Nota 24.- El libro de la PCA ya era conocido entre algunos de nuestros profesionales pero, que se sepa, no llegó a los medios universitarios. Se reconoce como primer texto para el diseño sismorresistente moderno de estructuras altas de concreto armado.

Nota 25.- Este material, celosamente custodiado por su familia, modificó el mapa, el catálogo y añadió la Tabla 0. En agosto de 1969, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales publicó, como volumen 8 de su colección, la segunda edición del libro del ingeniero Melchor Centeno Graü. Esto se logró gracias a la iniciativa del geólogo Guillermo Zuloaga, individuo de número de esa Academia, quien tenía conocimiento del trabajo inconcluso que dejó Centeno Graü cuando llegó el fin de sus días en octubre de 1949. Esos textos, celosamente guardados por sus herederos, nunca se habían hecho públicos. Se descubrió allí y se conoció por vez primera, el mapa de zonificación en el cual venía trabajando el doctor Centeno cuando lo sorprendió la muerte; en dicho mapa, Caracas quedaba incluida entre las zonas de mayor peligro sísmico del país, lo cual hubo que reconocer con posterioridad al terremoto de 1967.

Nota 26.- Esto explica que pocos años después y salvando limitaciones idiomáticas, Fiedler presentó un novedoso trabajo sobre los grandes sismos destructores de Venezuela de obligada referencia durante muchos años (Fiedler, 1961 a; 1961 b; 1961 c). Con toda seguridad Fiedler compartió información e inquietudes con el Padre Jesús E. Ramírez (S.J.), Director del Observatorio Geofísico de Los Andes Colombianos, situado en terrenos de la Universidad Javeriana de Bogotá, quien evaluó sismos de interés en áreas fronterizas como el de Cúcuta de 1875. El padre Jesús Emilio Ramírez, con un doctorado en geofísica otorgado por la Universidad de Saint Louis, Missouri, en 1939, formó parte de los fundadores del Instituto Geofísico de Los Andes en 1941 (Escobar, 1972).

Nota 27.- Una síntesis reciente sobre el tema y la contribución del profesor Celso Tulio Ugas F., se publicó como Nota Técnica en el *Boletín IMME* (Grases y Ramírez, 2009)

Nota 28.- En la presentación de ese documento se hace énfasis sobre la naturaleza temporal de su planificada vigencia; esta se extendió hasta 1982, cuando se aprobó la nueva Norma COVENIN 1756:82.

Nota 29.- Se podrían citar aquí diversos estudios recientes de edificaciones afectadas por el terremoto de 1967, cuyos resultados están sustentados con el empleo de algoritmos muy modernos de análisis. Esto último puede ejemplificarse con un caso que pudiera llamarse emblemático. Tiene que ver con un edificio de planta y elevación regular, de 18 niveles, constituido por un conjunto de columnas siguiendo un alineamiento radial, vinculadas entre sí por una robusta macrolosa 'celular' y un robusto núcleo de circulación con muros de concreto reforzado. En los primeros años de la década de los 80 se arrojaron dudas sobre su capacidad para resistir los sismos de la novísima Norma COVENIN 1756 del año 1982. El edificio fue reforzado. A inicios del presente siglo, la estructura original fue reevaluada con la norma COVENIN 1756:2001 vigente, para lo cual se configuró un sistema de 45 mil ecuaciones con otras tantas incógnitas por un joven y distinguido Ingeniero Estructural venezolano, ahora profesor en Canadá. La conclusión: el edificio original, aún con la sobrecarga del refuerzo, pasaba sin problemas los requerimientos de la norma.

Nota 30.- El registro obtenido en un sismoscopio en el Observatorio Cajigal, analizado por Fiedler y que se reproduce como Figura 19, parece indicar que la componente norte-sur del movimiento fue la más intensa (Fiedler, 1968, p. 188). Esto es concordante con los resultados recientes de evaluación de estructuras en el área de Los Palos Grandes, Caracas, publicados por Urich y López (2009).

REFERENCIAS

- ABENANTE, F. y GRASES, J. (1969). *Contribución al análisis sísmico de estructuras*. Oficina de Investigación de Viviendas de Interés Social del BANAP, CCCA y AVIE. Impresos ACEA Hnos., Caracas, 87 p.
- ACOSTA, L. y DE SANTIS, F. (1997). Mapa inventario de licuación de suelos en Venezuela. FUNVISIS, *III Conf. Latinoam. de Ing. Geotéc. Jóvenes*, Caracas.
- 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.
- AGUERREVERE, P.I. (1925). Un estudio sobre los terremotos. Sus referencias a Caracas. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela* N° 30, 93-98, junio. Caracas.
- AGUERREVERE V., S. E. (1932). Sobre el pronóstico de los temblores de tierra. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 93, p 911-913. Caracas. (Trabajo sobre Suyehiro, leído en la sesión del 6 de octubre de 1932).
- AGUERREVERE, S., HERRERA UMEREZ, G., PAOLI, C. P., PARDO STOLK, E. y VEGAS, A. (1951). Informe que presenta al Colegio de Ingenieros de Venezuela, la Comisión nombrada para estudiar el terremoto de El Tocuyo. *Revista del Col. de Ing. de Venez.*, N° 178:2-8, Enero, Caracas.
- ALFORD, J.L., HOUSNER, G.W. and MARTEL, R.R. (1953). Spectrum analysis of strong-motion earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 43, 97-119. /Una primera versión en un informe del año 1951, para la Oficina de Investigación Naval, Instituto Tecnológico de California, bajo el mismo título/.
- ALTEZ, R. (2009). *Documentos para el Estudio de un Desastre*. Academia Nacional de la Historia, Colección Bicentenario de la Independencia, ISBN: 978-980-7088-34-3. Gráficos Franco, C.A., Caracas, 404 p.
- ALTEZ, R., RODRIGUEZ, J.A. y URBANI, F. (2004). *Historia del pensamiento sismológico en Venezuela*. UCV, EBUC, FUNVISIS, ACFIMAN, Soc. Ven. de Hist. de las Geoc., Colección Temas 91, ISBN 980-00-2146-9, Caracas, 168 p.
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI) (1962). *The Agadir Marocco earthquake, February 29, 1960*. Committee of Structural Steel Producers of AISI, New York, 112 p.
- 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.
- ARCIA, J. (1970). Evaluación de daños Terremoto del 29-07-67, Caracas. *Boletín Técnico IMME*, N° 31-32, 73-137, Caracas.
- ARCIA, J. (1975). Análisis del temblor de La Tortuga del 24 de Julio de 1972. *Boletín de la Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural*, N° 13, 2-8, Caracas.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (ACIS) (2009). *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*. Comité AIS-300: Amenaza Sísmica, Bogotá, 207 p.
- AUDEMARD, F., MACHETTE, M., COX, J., HART, R. and HALLER, K. (2000). *Map and database of quaternary faults in Venezuela and its offshore regions*. A project of the International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World U.S. Geological Survey Open-File Report 00-18, 79 pp + map. Denver, Colorado.
- BARAZANGI, M. and DORMAN, J. (1969). World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and Geodetic Survey, epicenter data 1961-1967. *Bull. Seism. Soc. of America*, 59, 369-380.
- BEAUPERTHUY, L.D. (2010). Comunicación personal, del día 24 de septiembre sobre la baja atenuación de los sismos del Oriente de Venezuela.
- BIOT, M.A. (1941). A mechanical analyzer for the prediction of earthquake stress. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 31:2, 151-172, April.
- BIOT, M.A. (1943a). Analytical and experimental methods in engineering seismology. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 108, 365-408.
- BIOT, M.A. (1943b). Theory of elastic systems vibrating under transient impulse with an application to earthquake-proof buildings. *Memorias de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos de Norteamérica*, vol. XIX.
- BLUME, J.A., NEWMARK, N.M. and CORNING, L.H. (1961). *Design of multistory reinforced concrete buildings for earthquake motions*. PCA, Chicago, Illinois, 318 p.

- BRILLEMBOURG, D.D. (1968). La responsabilidad profesional del Ingeniero y del Arquitecto. *Bolet. de la Asoc. Venez. de Ing. Estruct.*, N° 8:38-40, Caracas.
- BUTCHER, G., BEETHAM, R., MILLAR, P. and TANAKA, H. (1993). The Hokkaido-Nansei-Oki earthquake. *Bull. New Zeal. Nat. Soc. Earthq. Eng.*, 26:3, 284-291, Wellington.
- CARRILLO P., E., AUDEMARD, F. y BECK, C. (2009). La paleo-sismología lacustre: una nueva herramienta en la evaluación del peligro sísmico en Venezuela. *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Vol. II, Cap II, pp 27-40, Ediciones CITECI- Consulibris, ISBN 978-980-7081-05-4, Caracas.
- CENTENO GRAÜ, M. (1900). El terremoto de 1900. *La Linternas Mágica*, 15 de noviembre, p 1-2, Caracas.
- CENTENO GRAÜ, M. (1940a) *Estudios sismológicos*. Litografía del Comercio, Caracas. /Segunda edición en 1969, aumentada y corregida: Vol VIII Acad. de Cienc. Fisic., Matem. y Nat., Talleres Cartografía Nacional, Caracas/.
- CENTENO GRAÜ, M. (1940b). Construcciones y sus fundaciones en pisos apropiados. Cap. IX de su libro: *Estudios Sismológicos; Recomendaciones para construcciones sismo-resistentes; sin modificaciones en la edición de 1969/*.
- CHOY, J. E. (1988). Profundidad y mecanismo focal del terremoto de El Tocuyo, 1950. *Revista Geográfica Venezolana*, 39, ULA, p203-217.
- 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.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2000). *Diseño sismo-resistente de instalaciones industriales*. Fondonorma, COVENIN 3621 Caracas. /Inicialmente: *Especificación PDVSA JA-221*, 1999/.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2000). *Diseño sismo-resistente de recipientes y estructuras*. Fondonorma, COVENIN 3622. Caracas. /Inicialmente: *Especificación PDVSA JA-222*, 1999/.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2000). *Diseño sismo-resistente de tanques metálicos*. Fondonorma, COVENIN 3623, Caracas. /Inicialmente: *Especificación PDVSA FJ-251*, 1999/.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2001b). *Diseño sismo-resistente de estructuras en aguas lacustres y someras*. Fondonorma, COVENIN 3624. Caracas. /Inicialmente: *Especificación PDVSA JA-224*, 1994/.
- COMITÉ CONJUNTO DEL CONCRETO ARMADO (CCCA) (1967a). *Normas para el cálculo de estructuras de concreto armado - teoría clásica 1967*. MOP, Caracas, 166p + comentarios + anexos. /Publicado por la Comisión de Normas del MOP: "... sin carácter preceptivo obligatorio"/.
- DOREL, J. (1981). Seismicity and gap in the Lesser Antilles arc and earthquake hazard in Guadeloupe. *Geophysical J. R. Astr. Soc.*, 67:679-695. London. /Se estudia el sismo de 1953 fuertemente sentido en Ciudad Bolívar/.
- ERNST, A. (1878a). Earthquake in Venezuela (Cúa). *Nature*, XXVIII, p 130, London. /Véase también su artículo en *La Opinión Nacional*, N° 2689 del 2 de mayo de 1878: La causa probable del terremoto de Cúa./.
- ERNST, A. (1878b). Tranquilizador. A propósito del terremoto de Cúa. *La Opinión Nacional*, Caracas, Abril 22; y: La causa probable del terremoto de Cúa. *La Opinión Nacional*, Caracas, Mayo 2.
- ESCOBAR, W. s.j. (1972). Los 30 años del Instituto Geofísico de Los Andes. *Revista Javeriana*, N° 382, 3-8, marzo. Bogotá.
- ESPINOSA, A. and ALGERMISSEN, S. (1972). *A study of soil amplification factors in earthquake damaged areas, Caracas earthquake of July 1967, Venezuela*. Dep. of Commerce, NOAA, Technical Report ERL 280-ESL 31, 201 p + gráficos, incluidos 5 apéndices, Boulder, Colorado.
- ESTEVA, L. (1967). Criterios para construcción de espectros para diseño sísmico. *Boletín Técnico IMME*, N° 19, p. 49-73, Caracas.
- FEBRES CORDERO, T. (1929). Cronicón sísmico. En: *El Universal* (diario de Caracas), 2 de Marzo de 1929, p5.
- FERRER, C. y LAFAILLE, J. (2000). El alud sísmico de La Playa: causas y efectos. El terremoto de Bailadores (1610). *Revista de Geografía Venezolana*, # 39:12, 23-86.
- FERULANO, P. E. (1947). Construcciones antisísmicas en general. Estructuras de concreto armado. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, año XXV, N° 168, pp. 315-318, Caracas.

- FIEDLER, G. (1954). *Die Erdbebenstätigkeit in Südwestdeutschland in den Jahren 1800 bis 1950*. T.H. Diss., Stuttgart.
- FIEDLER, G. (1961a). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. *Memorias III Cong. Geol. Venez.*, Tomo IV p1791-1810, Caracas.
- FIEDLER, G. (1961b). Mapa de relieve sísmico de Venezuela. *Mem. III Cong. Geol. Venez.*, Tomo IV, pp 1811-1814, Ministerio de Minas, Dirección de Geología, Caracas.
- FIEDLER, G. (1961c). El gran terremoto de El Tocuyo del 3 de Agosto de 1950 y el fenómeno mecánico en el foco. *Mem. III Cong. Geol. Venez.*, Tomo IV, pp 1787-1790, Ministerio de Minas, Dirección de Geología, Caracas. /El autor da como referencia un trabajo firmado por él, inédito, con el mismo título, de fecha 1958, con pié del Inst. Sism. del Observatorio Cagigal, Caracas/.
- FIEDLER, G. (1962). Resultados de estudios sísmicos en Venezuela y precauciones preventivas. *I Simposio Nacional sobre Calamidades Públicas*. Instituto Sismológico, Observatorio Cagigal, 11 p., Caracas.
- FIEDLER, G. (1969a). *Mapa de epicentros, superficies de volúmenes sísmicos e isosistas para el periodo 1530 a 1969*. Escala 1:2.000.000. Comandancia General de la Marina, Instituto Sismológico. MOP-Cartografía Nacional, 1969. /Se inserta en un recuadro, un mapa con las principales fallas geológicas del país/.
- FIEDLER, G. (1969b). Algunas notas sobre la aceleración del suelo en el terremoto de Caracas de Julio 29 de 1967. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, 24:85, 19p., Caracas./Versión en inglés, folleto de 24 p, editado en Italgráfica, Caracas, 1969/.
- 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.
- FOREL, F. A. (1892-1904). *Le Leman*. Lausanne, 3 vols.
- FUNVISIS (1982). *Aspectos ingenieriles del sismo del Táchira del 18 de Octubre de 1981*. Serie Técnica, 01-82, Caracas./Hay una primera versión de esta publicación, mimeografiada, con pequeñas diferencias/.
- FUNVISIS (1991). Sismo de Curarigua del 17-08-91. Informe de campo, Caracas. /¿mapa?/.
- FUNVISIS (1993). *Mapa Neotectónico de Venezuela* (escala 1:2.000.000). Compilación de C. Beltrán, Caracas.
- FUNVISIS (1997). Evaluación preliminar del Sismo de Cariaco del 9 de Julio de 1997, Estado Sucre, Venezuela. J. A. Rodríguez, edit. Caracas, ed. Mimeografiada.
- GRASES, J. (1970). El terremoto de 1812 y sus efectos. *Boletín Técnico IMME*, 29-30, pp 103-123.
- GRASES, J. (1976). Tsunamis en el oriente Venezolano. *Boletín Técnico IMME*, XIII-53, pp 3-17.
- GRASES, J. (2002). *Introducción a la Evaluación de la Amenaza Sísmica en Venezuela. Acciones de Mitigación*. FUNDACIÓN PEDRO GRASES, ISBN: 980-07-8393-8, Caracas, 249 p.
- GRASES, J. (2003b). La sismología histórica: fundamento insustituible de la ingeniería preventiva. *Mem. III Jornadas Venezolanas de Sismología Histórica*, 9 p., Mérida.
- GRASES, J. (2010). Normativas y Prevención Sísmica. Notas de Trabajo. *Mem. Quinto Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil*, Noviembre, Mérida, 33 p.
- GRASES, J., AUDERMARD, F. and MALAVER, A. (1996). Seismic energy released along a segment of the southern Caribbean plate border. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering* (CD), Acapulco, México.
- GRASES, J. y RAMÍREZ, O. (2009). Contribución del ingeniero Celso Tulio Ugas Fermín en la estrategia del diseño sismo-resistente. Una revisión bibliográfica. *Boletín Técnico IMME*, vol. 47, N° 3, 27-41. Caracas.
- HERBERT-GUSTAR, A. and NOTT, P. (1980). *John Milne: father of modern seismology*. Paul Norbury Publ., Kent.
- HOUSNER, G. (1947). Characteristics of Strong Motion Earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 37:1. January.
- HOUSNER, G. (1952). Spectrum Intensities of Strong-motion Earthquakes. *Proceeding of the Symposium on Earthquake and Blast Effects on Structures*, Earthquake Engineering Research Institute, Los Angeles.
- IBARRA, A. (1862). Temblores y Terremotos en Caracas. *El Independiente*, Marzo-Abril, Caracas.
- KAUSEL, E. (1986). Los terremotos de Agosto de 1868 y Mayo de 1877 que afectaron al sur del Perú y norte de Chile. Discurso de Incorporación a la Academia Chilena de Ciencias, vol 3, N° 1, Santiago.
- KULIK, J. (1947). Temblores de tierra y construcciones antisísmicas. *Revista del CIV*, año XXV, N° 166:214-220, Julio-Agosto, Caracas.
- KVALE, A. (1955). Seismic seiches in Norway and England during the Assam Earthquake of August 15, 1950. *Bull. of the Seism. Soc. of Amer.*, Vol 45, pp 93-113.

- LAMBERTI, B. (1951). Métodos aproximados para el cálculo de entramados de edificios sometidos a fuerzas horizontales aplicadas a nivel de los pisos. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 181, 2-18, Caracas.
- LAMBERTI, B. (1954). Método de la estructura equivalente para el cálculo de edificios antisísmicos. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 223, pp. 61-64, Caracas.
- LANDAETA ROSALES, M. (1889). *Gran recopilación geográfica, estadística e histórica de Venezuela*. Colección Cuatricentenario de Caracas, ediciones Banco Central, Caracas 1963.
- LLIBOUTRY, L, et al. (1970). *Evaluación de los riesgos telúricos en el Callejón de Huaylas, con vistas a la reubicación de poblaciones y obras públicas*. Informe UNESCO 2208 BMS-RD/SCE, Lima.
- LUGO, M. y FERIOLI, M.P. (1991). Encuesta de intensidades de los sismos de Curarigua (agosto-setiembre, 1991). FUNVISIS, Caracas.
- MALLET, R. (1862). *Great Neapolitan Earthquake of 1857. The first principles of observational seismology*. Chapman and Hall, London, 2 vol.
- MALLET, R. and MALLET, J. W. (1852; 1853; 1854). *Third report on the facts of earthquake phaenomena. Catalogue of recorded earthquakes from 1606 B.C. to A.D. 1850*. Reports of researches in Science of the British Association for the Advancement of Science. Third Report (1852) pp1-176; idem (1853) pp 118-212; idem (1854) pp 1-326.
- MARQUEZ, M. (1968). *Henri François Pittier: bibliografía*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- 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.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1947b). *Normas para el cálculo de edificios*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones, Imprenta Nacional, Caracas.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1955). *Normas para el Cálculo de Edificios*. Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales, Tipografía Italiana, Caracas, pp 164-171.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1967b). *Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas*. Caracas, 18 p + mapa. /Sustituye la Norma sísmica del MOP del año 1955, la cual se consideró obsoleta/.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1967c). Plano de inmuebles afectados por el sismo del 29-07-1967. Información conjunta: MOP, CIV, Banco Obrero, Ingenierías Municipales, Universidades y otras instituciones públicas. Plano base OMPU 1:5.000, setiembre, Caracas
- MONTESSUS DE BALLORE, F. (1898). L'Amérique Centrale et l'Amérique du sud Sismiques. *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*, XI: 34, pp 263-277, México.
- MONTESSUS DE BALLORE, F. (1906). *Les tremblements de Terre. Géographie Seismologique*. Librairie Armand Colin, París, 475p + mapas.
- 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. Sism.* 11-14 Junio 1995, Cumaná/.
- MORALES, C., NOGUERA J., y DUQUE J. (2007). Informe Especial de inspección y evaluación de las estructuras en las Centrales Hidroeléctricas de CVG EDELCA debido al sismo ocurrido en Martinica el 29 de Noviembre de 2007. CVG Departamento de Instrumentación y Evaluación de Estructuras, Ciudad Guayana.
- MÜNCHENER RÜCK (2000). *Welt der Naturgefahren*. München, CD-Rom.
- OLIVARES, A.E. (1952a). Procedimiento aproximado para el cálculo de pórticos múltiples sometidos a fuerzas horizontales. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 199, 3-15, Caracas.
- OLIVARES, A. E. (1986). *Dr. Luis Ugüeto. Ingeniero, Astrónomo y Profesor*. Vol. 22 de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. ISBN 980-265-456-6, Cromotip. Caracas, 309 p
- OLIVARES, A.E. (1997). Datos históricos sobre las observaciones sismológicas y normas sísmicas en Venezuela. En: *Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios Empleados en Venezuela*, Tema 1. Volumen XXXIII, Colección Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales, ISBN 980-6195-03-5, Editorial Binev. Caracas, 662 p.
- ORIHUELA, N. (1987). Riesgo de ocurrencia de tsunamis en la región nor-oriental de Venezuela. *Memorias Primeras Jornadas de Investigación*, Fac. de Ing., UCV, Caracas, pp 85-88.
- ORIHUELA, N. (1989). Modelaje matemático del proceso de ocurrencia de un tsunami en dos localidades de la costa Venezolana. Tesis para optar al Título de Magister Scientiarum en Ing. Geofísica, Fac. de Ing., UCV, Caracas, 114 p.

- PALMA, M. (2011). Datos sobre la nueva red de registro sismográfico de FUNVISIS. Com. Personal.
- PAPARONI M., 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.
- PARDO STOLK, E. (1963). *Memoria relativa al proyecto de la Escuela de Medicina de la Ciudad Universitaria*. Fundación Editorial Escolar, Caracas.
- PÉREZ, O., BILHAM, R., BENDICK, R., HERNÁNDEZ, N., HOYER, M., VELANDIA, J., MONCAYO, C. y KOZUCH, M. (2001a). Velocidad relativa entre las placas del Caribe y Suramérica a partir de observaciones dentro del sistema de posicionamiento global (GPS) en el norte de Venezuela. *Interciencia*, 26(2):69-74, Caracas.
- PÉREZ, O., BILHAM, R., BENDICK, R., VELANDIA, J., HERNÁNDEZ, N., MONCAYO, C., HOYER, M. and KOZUCH, M. (2001b). Velocity field across the southern Caribbean boundary and estimates of Caribbean-Southamerican plate motion using GPS geodesy 1994-2000. *Geophy. Resear. Letters*, 1-7.
- PÉREZ MARCHELLI, H. (1997). Henri Pittier. En: *Diccionario de Historia de Venezuela*, Fundación Polar, III, 654-655, Caracas.
- 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.
- RAMIREZ, J. E. s.j. (1975b). *El terremoto de Cúcuta cien años después (18-05-1875; 18-05-1975)*. Edit, Desarrollo, Bogotá, 63p.
- REID, H. (1914). The Lisbon earthquake of November 1, 1955. *Bull of the Seism. Soc. of Amer.*, vol 4, pp 53-80.
- RICHTER, C. (1958). *Elementary Seismology*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 768 p.
- ROMERO, A. (2002). *Evolución de los Métodos de Cálculo en las Estructuras diseñadas con Pórticos de Concreto Armado para edificios en el área Norte de Latinoamérica*. Las Palmas, 312 p.
- ROSENBLUETH, E. y ESTEVA M., L. (1964). Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*, II, N°1, 1-18, México
- ROSENBLUETH, E., MARSAL, R. J. y HIRIART, F. (1958). Los efectos del terremoto del 28 de Julio y la consiguiente revisión de los criterios para el diseño sísmico de estructuras. *Revista Ingeniería*, Enero p3-30, México. /Esta singular experiencia fue presentada por Rosenblueth en la II Conf. Mundial de Ing. Sísmica, Tokyo, 1960/.
- RÜDOLPH, E. und SZIRTES, S. (1911). Das kolumbianische Erdbeben vom 31. Januar 1906. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, Band 11, Teilen I, II: 132-199. Teil III: 207-275.
- SARDI SOCORRO, V. (1962). *El Método de Cross de la Distribución de los Momentos*. Editorial Arte, Caracas, 244 p.
- SARDI SOCORRO, V. (1968). Contribución al estudio de la frecuencia de los sismos en Caracas. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, vol. 28 (81):73-85, Caracas.
- SARRIA, A. (1986). *Enseñanzas derivadas de los estudios de las misiones posterremoto enviadas por UNESCO o CERESIS-UNESCO*. CERESIS, Lima 133p.
- SCHWARCK, A., PONTE, L., 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.
- SIEVERS, W. (1905). Das Erdbeben in Venezuela von 29 Oktober 1900. *Festschrift zur Feier des 70 Geburtstages von J.J. Rein, Jahrb. Veroffnet. Geographische Vereinigung zu Bonn*, p 35-50.
- SIEVERS, W. und FRIEDERICHSEN, L. (1895). Das Erdbeben in Venezuela am 28 April 1894. En: *Mitteilungen der geographische Gesellschaft*. Vol. 1891-1892. Pag. 237-244. Giessen, Alemania.
- SINGER, A. (1998). Evaluación retrospectiva de los efectos geológicos destructores del terremoto de 1610 en los Andes Venezolanos del siglo 17 y de observaciones de campo actuales. *Revista Geográfica Venezolana* 39 (1-2): 289-296.
- SINGER, A. y AUDEMARD, F. (1997). Aportes de FUNVISIS al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico. En: *Diseño Sismo-resistente Especificaciones y Criterios Empleados en Venezuela*. J. Grases ed, Acad. de Cienc., Físic., Matem. y Nat., vol XXXIII, Tema 2, pp 25-38.
- SINGER, A. y LUGO, M. (1982). El alud sísmico del 03-02-1610 en el valle de Mocotíes (Andes venezolanos). Confrontación con los testimonios del siglo XVII y de las evidencias de campo actuales. *Acta Cient. Venezolana*, 33: p 214.
- SOTO, J. F. (1931). La Sismología en Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, N° 2, pp 37-89. Caracas, Septiembre.

- SOULAS, J. P. (1986). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. *Memorias VI Congreso Geológico Venezolano*, Septiembre-Octubre, Tomo X, p. 6639-6656.
- STOLK, J. F. (1932). Datos útiles para las construcciones contra temblores. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas, UCV, Caracas.
- STRUCTURAL ENGINEERS ASSOCIATION OF NORTHERN CALIFORNIA (SEAONC) and AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERING (ASCE) (1951). Lateral forces of earthquake and wind. Presented by the Joint Committee, in *Proceedings - Separate* N° 66, April.
- SUYEHIRO, K. (1932). Engineering seismology. *Proceedings of the Am. Soc. Civ. Eng.* Vol. 58:4, Part 1 and 2, 110p. /Este investigador japonés fue invitado a California para que expusiera los resultados de sus investigaciones. El estudio de este extenso documento publicado en los Estados Unidos, fue la base de la conferencia que dictó el Dr. Santiago Aguerrevere en 1932/.
- TENG, T., TSAI, Y. and LEE, W. edit. (2001). Dedicated Issue Chi-Chi, Taiwan Earthquake of 20 September 1999. *Bull. of the Seism. Societ. Of America*, vol 91, N° 5, 1395 p.
- UGAS, C.T. (1974). Espectros para diseño antisísmico en función de las condiciones locales del subsuelo. *Boletín Técnico IMME*, vol XI, N° 48: 25-57, Caracas, Oct-Dic.
- UGAS, C.T. (1981). Influencia del suelo en el daño de estructuras durante terremotos. *Mem. III Congr. Venez. de Sism. e Ing. Sís.*, Caracas.
- UGAS, C.T. (1982). Influencia de las condiciones del subsuelo en los espectros de respuesta. Informe Final a FUNVISIS, Caracas.
- UGAS, C.T. y GRASES, J. (1980). Observaciones y Lecciones del Terremoto de Caracas de 1967. Informe para FUNVISIS, no publicado. Caracas, ca. 250 p.
- UGAS F., C. T., GRASES, J. y VÁSQUEZ, A. (1983). Referencias relativas al terremoto de Caracas del 29-07-67. *Boletín Técnico IMME*, XXI (72-73):223-258, Caracas. /Esta compilación de 349 referencias es más amplia de lo que sugiere el título, pues incluye trabajos publicados con anterioridad al sismo de 1967/.
- UNESCO (1968). *The Skopje earthquake 1963*. Paris, 78 p.
- URBINA LUIGI, L. (1965). Reseña histórica y bibliográfica de las Ciencias Físicas y Matemáticas en Venezuela. En: *La Ciencia. Base de nuestro progreso*. Ediciones IVIC, Editorial Arte, Caracas, p 93-103.
- 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. Sís.*, Caracas.
- VIZCARRONDO, J. A. (1934). Consideraciones generales acerca de las construcciones antisísmicas. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 102, pp. 1121-1124, Caracas.
- Von HÖCHSTETTER, F. (1868). Über das Erdbeben in Perú am 13. August 1868...*Sizber. Akad. Wiss. Wien, math.-nature.* KI vol 58, p 387.
- Von HÖCHSTETTER, F. (1869). Die Erdbebenfluth im Pazifisceb Ozean vom 13. bis 16. August 1868... *ibid*, vol. 59, p 109.
- WIEGEL, R. (1976). Tsunamis. In: *Seismic Risk and Engineering Decisions*, Lomnitz C. and Rosenblueth E., ed., Chapter 7, p 225-286, Elsevier, Dev. in Geotec. Eng. 15, Amsterdam.