

LINEAMIENTOS PARA UN PROGRAMA DE REDUCCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN VENEZUELA

OSCAR A. LÓPEZ

IMME, Facultad de Ingeniería, UCV y Asesor de FUNVISIS

Recibido: abril 2012

Recibido en forma final revisado: febrero 2013

RESUMEN

Daños y derrumbes en construcciones observados en diversos sismos ocurridos en el planeta corresponden a estructuras que aún cuando habían sido diseñadas con normas sismorresistente, éstas sin embargo resultaron ser insuficientes para proveer una seguridad requerida. Una de las mayores fuentes de vulnerabilidad en Venezuela lo constituyen las edificaciones construidas hace varias décadas con criterios de diseño considerablemente menos exigentes que los contemplados en las normas sísmicas modernas. Se proponen lineamientos prácticos para un programa de reducción del riesgo sísmico en el ámbito de las construcciones existentes y de las nuevas construcciones, que efectivamente proteja a la población y a la infraestructura del país. Nuevos reglamentos son necesarios para garantizar el cumplimiento estricto de las normas sismorresistentes en las nuevas construcciones. Vista la magnitud del problema de la elevada vulnerabilidad de las construcciones existentes más antiguas, el esfuerzo debe priorizar el estudio y refuerzo de la infraestructura necesaria en emergencias, tales como hospitales, edificios de bomberos y protección civil y escuelas. En otras construcciones el esfuerzo se debería orientar a establecer los reglamentos municipales necesarios a fin de establecer los incentivos ante las comunidades organizadas para evaluar y reforzar las edificaciones más antiguas. En el ámbito de la construcción popular se deberían generar manuales didácticos para la construcción de nuevas viviendas sismorresistente y el refuerzo de las existentes. El éxito de estas acciones sólo se pudiese garantizar con el uso de medios masivos de difusión que efectivamente logre generar e implantar una cultura sismorresistente.

Palabras clave: Terremotos, Prevención, Reforzamiento, Vulnerabilidad, Riesgo sísmico.

GUIDELINES FOR A SEISMIC RISK REDUCTION PROGRAM IN VENEZUELA

ABSTRACT

Damage in constructions observed in various earthquakes corresponds to structures that had been designed with earthquake resistant standards which however proved to be insufficient to provide the required safety. One of the largest sources of vulnerability in Venezuela are buildings built several decades ago with design criteria considerably less demanding than those referred to in modern seismic standards. Guidelines are proposed in this paper for a practical program of earthquake risk reduction, for existing buildings and for new constructions that effectively protect the population and infrastructure of the country. New regulations are needed to ensure strict compliance with the standards in the new buildings. Given the magnitude of the problem of the high vulnerability of older existing buildings, the effort must prioritize the study and reinforcement of the infrastructure required during emergencies, such as hospitals, fire protection and school buildings. In other constructions the effort should be guided to define municipal regulations in order to propose incentives to organized communities to evaluate and strengthen the oldest buildings. In the field of non-engineering popular constructions, training manuals for new houses and for the seismic strengthening of existing ones are required. The success of these actions could only be guaranteed with the use of mass media that effectively generates and deploy a seismic culture.

Keywords: Earthquakes, Prevention, Strengthening, Vulnerability, Seismic risk.

INTRODUCCIÓN

El terremoto de Haití ($M_w = 7,0$) del 12/01/2010 provocó la muerte de unas 220.000 personas, principalmente por el derrumbe de viviendas (Figura 1), pero también causó el colapso de 13 de un total de 15 edificios principales de

gobierno y la destrucción de 50 centros de salud u hospitales y 1300 edificios escolares (EERI, 2010(a) y 2010(b)). El gobierno de Haití ha estimado que el daño causado es de aproximadamente 7,8 millardos de dólares lo que equivale al 120% de su PIB para el año 2009. Por otro lado, el terremoto de Chile del mismo año (27/02/2010) y con una magnitud

considerablemente mayor ($M_w=8,8$) el cual liberó 500 veces más energía que el de Haití, provocó la muerte de no más de 600 personas; aun cuando causó daños importantes en la infraestructura de ese país, ello ocurrió a un nivel considerablemente menor que en Haití. La diferencia en los efectos de estos dos terremotos, ha puesto en evidencia

de una manera dramática la importancia de la prevención, destacando como el incumplimiento de principios básicos de construcción sismorresistente en regiones sísmicamente activas conducirá inevitablemente en un corto, mediano o largo plazo a una catástrofe.

a) Viviendas populares en las colinas



b) Edificaciones formales



Figura 1. Viviendas y edificios destruidos durante el terremoto de Haití (Time, 2010)

Por otro lado, numerosas construcciones derrumbadas en sismos como los de California (1971, 1989, 1994) y Japón (1995), habían sido diseñadas con normas sísmicas pero éstas demostraron ser insuficientes para proveer una protección adecuada. Esto se debe a que las normas de construcción de hace varias décadas establecían criterios de diseño sísmico considerablemente menos rigurosos a los actuales, razón por la cual muchas de las construcciones hechas en esas épocas están expuestas a riesgos que son considerados inaceptables desde el marco actual del conocimiento. En el caso de Venezuela donde se acepta que pueden ocurrir eventos sísmicos de tamaño similar o mayor al de Haití, se estima que aproximadamente un 50% de la infraestructura del país fue desarrollada antes de 1982, con normas sísmicas hoy consideradas insuficientes para garantizar una protección adecuada.

Este trabajo tiene como finalidad proponer lineamientos de utilidad para la formulación de un plan local o nacional para la protección de nuestras ciudades contra la amenaza de los terremotos, particularmente en el ámbito de las edificaciones. Para ello se interpretan experiencias de terremotos ocurridos en el pasado, se presentan y analizan resultados de investigaciones recientes y se proponen líneas estratégicas de aplicación.

RELACIÓN ENTRE DAÑO ESTRUCTURAL Y NORMA SÍSMICA

El desempeño inadecuado de edificaciones durante terremotos puede, en general, ser atribuido a la omisión de

principios básicos de la ingeniería sismorresistente, a nivel de proyecto o a nivel de construcción. La clasificación que sigue a continuación atiende principalmente a los daños inducidos en las construcciones por la vibración del terreno provocada por los terremotos, que suelen ser los más importantes con las excepciones del caso, y no se refiere a otros efectos de los sismos tales como ruptura tectónica, falla de suelos y maremotos.

Un examen de los daños inducidos en las construcciones por los sismos pone de manifiesto que se pueden asociar con una o a varias de las causas siguientes:

- Ausencia de una norma: No existía y por tanto no se aplicó ninguna norma de construcción sismorresistente.
- Incumplimiento de la norma: Si existía la norma de construcción sismorresistente, pero en el diseño y/o en la construcción se incumplieron algunos de sus requisitos.
- Insuficiencia de la norma: Si existía una norma de construcción sismorresistente y sí se aplicó correctamente, pero ésta correspondía a una norma antigua que es hoy considerada insuficiente bajo el marco del conocimiento actual.

Ausencia de una norma sismorresistente

La catástrofe de Haití es atribuible principalmente a la

ausencia de una norma de construcciones sismorresistentes y por tanto a la omisión de principios básicos en el diseño y construcción, tanto en construcciones formales como informales. Esta carencia estaba muy posiblemente influenciada por el hecho de que el último terremoto destructor había ocurrido en 1860, hacía ya 150 años. La configuración estructural, las dimensiones de los miembros y el detallado de los elementos de concreto armado fueron en la mayoría de los casos inadecuados para construcciones que están en zonas sísmicas. Estas deficiencias fueron exacerbadas por prácticas constructivas deficientes, materiales de baja calidad (Fierro & Perry, 2010; EERI, 2010(a); Lang & Marshall, 2011; Marshall *et al.* 2011) y

por la ausencia de profesionales especializadas en diseño y construcción.

Incumplimiento de la norma sismorresistente

La existencia de una norma de construcción sismorresistente no necesariamente garantiza su correcta aplicación y su cumplimiento. Por ejemplo, el derrumbe (Figura 2) de un único edificio en la ciudad de Cumaná durante el sismo de Cariaco del año de 1997 puede ser atribuido al incumplimiento de las normas vigentes de diseño sismorresistente.

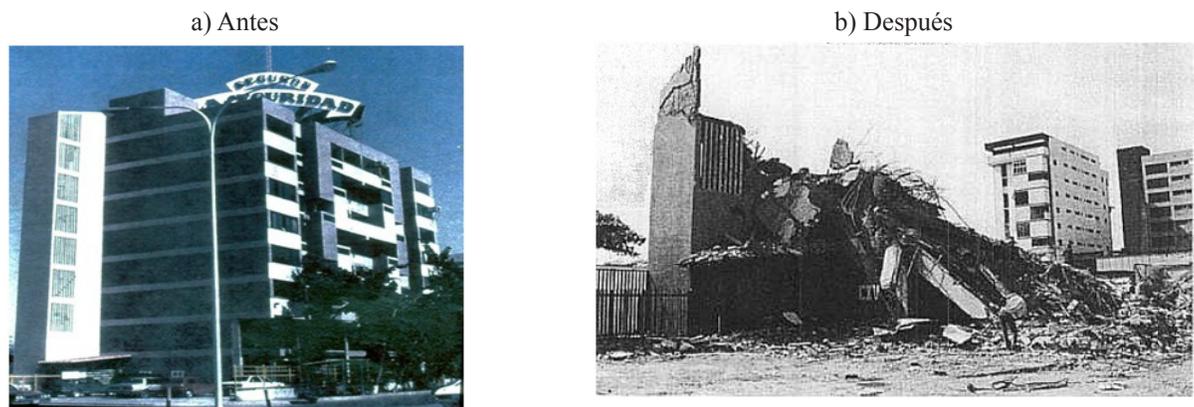


Figura 2. Edificio Miramar derrumbado durante el sismo de Cariaco en 1997 (IMME, 1998)

La estructura principal del edificio de 9 niveles era en base de pórticos de concreto armado, pero en un extremo del edificio se encontraban muros de concreto armado de gran rigidez que definían la zona de circulación vertical. Una revisión de los cálculos estructurales, puso de manifiesto que en el análisis y diseño del edificio se consideraron cargas sísmicas solamente en una dirección horizontal, ignorando las cargas sísmicas en la dirección ortogonal aun cuando la norma vigente (MOP, 1967) requería explícitamente de su consideración. Tampoco se consideraron los efectos de la torsión global del edificio con respecto a un eje vertical, efectos que eran particularmente importantes en este caso debido a la gran asimetría de rigideces que introducían los muros estructurales excéntricos. La norma (MOP, 1967) vigente para la época había sido la primera norma nacional en especificar la obligatoriedad de incorporar los efectos de la torsión en planta de los edificios inducidos por las cargas sísmicas, introduciendo en el cálculo la excentricidad nominal entre centros de masas y de rigideces así como una excentricidad accidental, efectos éstos que fueron ignorados por el calculista de la obra.

Otras omisiones de carácter conceptual fueron observadas en los cálculos estructurales (IMME, 1998); por ejemplo, en la dirección horizontal en la cual sí se analizó el edificio

ante cargas sísmicas se ignoraron sin embargo las fuerzas axiales en las columnas inducidas por las cargas laterales, de manera tal que las fuerzas axiales de diseño de las columnas provenían exclusivamente de las cargas gravitatorias aun cuando el edificio se encontraba en la zona de mayor amenaza sísmica del país. A estas deficiencias se agrega que en los planos de las columnas se indicaron áreas de acero longitudinal que eran inferiores a las áreas indicadas en los cálculos, ya de por sí disminuidas por las razones anotadas previamente; adicionalmente, en los planos se indicó también una separación constante del refuerzo transversal en las columnas que incumplía los requerimientos de confinamiento consistentes en disminuir dicha separación a la mitad en la cercanía de los nodos, requisito que estaba incorporado en la norma vigente (MOP, 1967). Por último la calidad del concreto de acuerdo a los núcleos extraídos indicó una resistencia por debajo de la resistencia nominal mostrada en los cálculos y planos.

Como consecuencia de esta acumulación de omisiones y errores, la estructura poseía una muy disminuida resistencia, rigidez y capacidad de deformación, por lo que la demanda de desplazamientos y de esfuerzos impuesta por el movimiento sísmico condujo al derrumbe de este único edificio en la ciudad de Cumaná (IMME, 1998).

Es conveniente destacar que si los cálculos y planos estructurales hubiesen sido revisados por un profesional independiente, muy probablemente se hubiesen detectado las omisiones más importantes aquí citadas (por ejemplo, la sorprendente ausencia de cálculo sísmico en una dirección del edificio) y se hubiesen hecho las correcciones necesarias que habrían podido evitar el derrumbe del mismo.

Por otro lado, debe asimismo mencionarse que debido a la lejanía de la ciudad de Cumaná al epicentro y a la zona de ruptura superficial de la falla geológica, los movimientos vibratorios ocurridos fueron relativamente moderados lo que explica que no hubiese mayores daños en la ciudad. Una estación acelerográfica de FUNVISIS localizada en Cumaná sobre roca, a 6,8 km del edificio Miramar, registró el movimiento sísmico durante el evento indicando una aceleración máxima promedio de 0,070 g, obtenida de promediar las dos direcciones horizontales (Bonilla *et al.* 2000). Un valor similar se obtiene a partir del uso de recientes modelos de atenuación de ondas sísmicas (NGA, 2008). Para el evento de magnitud $MW=6,9$ y profundidad focal de 9 km, una distancia de 60 Km. entre la ciudad de Cumaná y el punto más cercano de la traza de ruptura superficial de la falla de El Pilar (Audemard, 2006), un plano de falla vertical con desplazamiento transcurrente y una velocidad de propagación de la onda de corte en los primeros 30 metros en el sitio de $Vs30=250$ m/s (IMME,

1998; COVENIN, 2001), se obtiene una aceleración media de 0,078 g, valor obtenido de promediar los cuatro modelos de atenuación considerados en el proyecto NGA para condiciones de suelo: Abrahamson & Silva, Campbell & Bozorgnia, Boore y Atkinson y Chiou & Youngs (NGA, 2008). Este valor medio se asocia con niveles de daño calificados como incipientes en estructuras de concreto armado.

Un segundo ejemplo de incumplimiento de las normas sismorresistentes, atiende a las construcciones populares, características de las colinas que rodean a Caracas (Figura 3), la mayoría de las cuales han sido construidas informalmente sin participación ni supervisión del gobierno local, ignorando conceptos básicos para resistir terremotos contemplados en la norma vigente (COVENIN, 2001). Éstas suelen ser construcciones en las cuales las paredes de bloques soportan buena parte de las cargas gravitatorias y de las cargas laterales, con escasos elementos de confinamiento y sin refuerzo interior, que por tanto poseen una elevada vulnerabilidad a las acciones sísmicas. Se ha estimado que estas construcciones populares arraigadas en la ciudad desde hace más de cinco décadas, sirven de vivienda a más de un 60% de la población de Caracas y se constituyen por tanto en la mayor fuente de riesgo sísmico de la ciudad.



Figura 3. Construcciones populares en viviendas de Caracas incumplen las normas sismorresistentes

Se evidencia entonces que la existencia de una normativa legal de construcción sismorresistente, es un requisito necesario pero insuficiente para garantizar la seguridad de la población. La norma de construcción debe ir acompañada de: 1) Un componente ético en los profesionales que intervienen en las distintas fases de la obra, que privilegie la responsabilidad social sobre el beneficio económico en la toma de decisiones; 2) Un control estricto de parte de las autoridades municipales para no permitir construcciones sin los debidos permisos y supervisiones; 3) Una aplicación de sanciones a los que incumplan las normas.

En otros países, los proyectos de ingeniería estructural son revisados por un profesional independiente a efectos de garantizar el derecho a la seguridad y a la vida de la población. Por ejemplo, en Colombia las normas establecen la figura del ingeniero Revisor de los Diseños, el cual es el ingeniero civil diferente del diseñador e independiente laboralmente de él, que tiene la responsabilidad de revisar los diseños estructurales y estudios geotécnicos para constatar que la edificación propuesta cumple con los requisitos exigidos por la ley y sus reglamentos (Congreso de Colombia, 1997). Estas revisiones, de aplicación estricta

en países sísmicos, no están sin embargo establecidas de manera explícita en la vigente Ley Orgánica de Ordenación Urbanística de Venezuela aprobada en 1987 cuando las políticas neoliberales de la época redujeron sensiblemente los controles por parte del estado. Antes de 1987 se revisaban y aprobaban en las ingenierías municipales los aspectos sismorresistentes en el cálculo de nuevas edificaciones bajo el marco de lo estipulado por la Comisión Presidencial del Sismo en su “Instructivo para la Revisión de Proyectos Estructurales por parte de las Ingenierías Municipales” (Capítulo XVI: MOP, 1978).

Insuficiencia de la norma sismorresistente

La mayoría de los daños observados en terremotos pasados, han ocurrido en construcciones antiguas que fueron diseñadas y construidas con normas sismorresistentes, hoy consideradas insuficientes, desarrolladas antes de la aparición de los criterios modernos que han surgido y se han establecido en las últimas tres décadas. Por ejemplo, el derrumbe de cuatro edificaciones pertenecientes a dos planteles escolares en Cariaco durante el sismo ($M_w=6,9$) del 09/07/1997 en Venezuela, ha sido atribuible en primera instancia a la poca resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía (ductilidad) de sus estructuras, aún cuando fueron diseñadas y construidas cumpliendo en líneas generales con las normas de diseño de 1955 y de 1967 vigentes en la época de su construcción (IMME, 1998; López *et al.* 2007).

El derrumbe de cuatro edificios altos en Caracas en la zona

Altamira-Los Palos Grandes durante el sismo ($M_w =6,4$) de 1967 no fue atribuido a incumplimientos normativos ni a defectos de construcción; en efecto, las construcciones se ajustaban en general a las normas vigentes y estaban en concordancia con los criterios de diseño vigentes en ese momento en las zonas sísmicas de los Estados Unidos (Sozen *et. al.* 1968; Hanson & Degenkolb, 1969). El derrumbe de estos edificios estuvo fuertemente influenciado por las siguientes características de sus estructuras: i) La carencia de un detallado adecuado del acero de refuerzo en vigas y columnas de concreto armado, generando elementos de baja ductilidad (Figura 4); ii) la ausencia de vigas en una de las dos direcciones principales del edificio, generando edificios con baja rigidez y resistencia en esa dirección, características éstas presentes también en construcciones hechas con posterioridad a 1967 (Figura 5); iii) La presencia de un piso blando y débil en la planta baja, inducido por la terminación de las paredes de mampostería de los niveles superiores. En la Figura 6 se muestran fotografías del Edificio Mijagual y del Edificio San José, antes y después del evento sísmico de 1967 en Caracas, notándose la interrupción de las paredes en el nivel más bajo de los edificios lo que potenció una condición de piso blando y débil. Debe, sin embargo, mencionarse que muchas otras construcciones similares en otros lugares de la ciudad experimentaron una respuesta aceptable ante este sismo, la mayoría sin daños, debido en buena medida a que la intensidad del movimiento fue menor en el resto de la ciudad y sólo la zona de Altamira-Los Palos Grandes experimentó valores elevados debido a la amplificación introducida por los sedimentos profundos allí presentes (MOP, 1978).

a) Columna con insuficiente refuerzo transversal e inadecuado doblado de ganchos

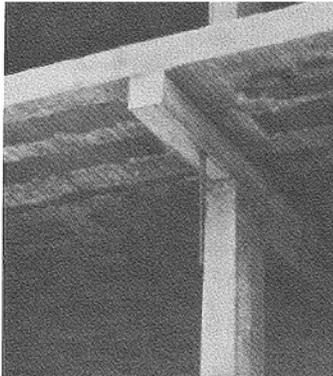


b) Columna y nodo con insuficiente refuerzo transversal



Figura 4. Detallado de columnas en edificios en Caracas afectados por el sismo de 1967: (a) Skinner, 1968; (b) Steinbrugge, 1967

a) Ausencia de vigas en una dirección horizontal. Edificio en construcción en Caracas, 1967 (Hanson & Degenkolb, 1975)



b) Ausencia de viga alta en una dirección horizontal. Escuela construida en la década de 1970



c) Ausencia de vigas altas en ambas direcciones. Foto de edificio en Caracas tomada en el año 2012



Figura 5. Edificios con carencia de planos resistentes bien definidos en una o dos direcciones horizontales

(a) Edificio Mijagual
Antes



Después



(b) Edificio San José
Antes



Después



Figura 6. Los edificios derrumbados en Caracas en 1967 tenían una planta baja débil debido a la interrupción de las paredes de relleno de los pisos superiores: (a) Archivo FUNVISIS; (b) Steinbrugge, 1967

Las tres características citadas que disminuyeron sensiblemente la capacidad para resistir terremotos de los edificios derrumbados, eran sin embargo comunes en las construcciones de la época; ellas estaban efectivamente permitidas en la norma de 1955 (MOP, 1955) pero están impedidas o fuertemente penalizadas en las normas

modernas. En una muestra escogida al azar de 130 edificios en el área metropolitana de Caracas después del terremoto de 1967, se puso de manifiesto que un 43% no tenían vigas en una dirección (Figuras 5a y 5b) (MOP, 1978); es decir, el sistema resistente a sismos estaba constituido por las columnas y los nervios de la losa orientados en esa

dirección, generando edificios con una muy disminuida capacidad sismorresistente, muchos de los cuales están todavía prestando servicio en la ciudad. En efecto, un estudio reciente sobre la vulnerabilidad de 199 edificios en la zona de Los Palos Grandes indica que el 52% fueron construidos antes de 1967, el 38% no tienen pórticos en una dirección y el 26% tienen la planta baja libre (Safina *et al.* 2009). Por otro lado debe sin embargo señalarse que los efectos negativos que pueden introducir las paredes de relleno en el desempeño estructural (pisos blandos, columnas cortas)

producto de adosar las paredes a las columnas tal como se ilustra en la Figura 7, están todavía presentes en muchas construcciones hechas con normas modernas y constituye un serio problema todavía pendiente de resolver por parte de la ingeniería nacional. La caída de paredes por ausencia de los anclajes apropiados (Figura 8) puede originar daños severos y víctimas como lo demostró extensamente el terremoto de Caracas de 1967 y constituye otra tarea por resolver en el país.

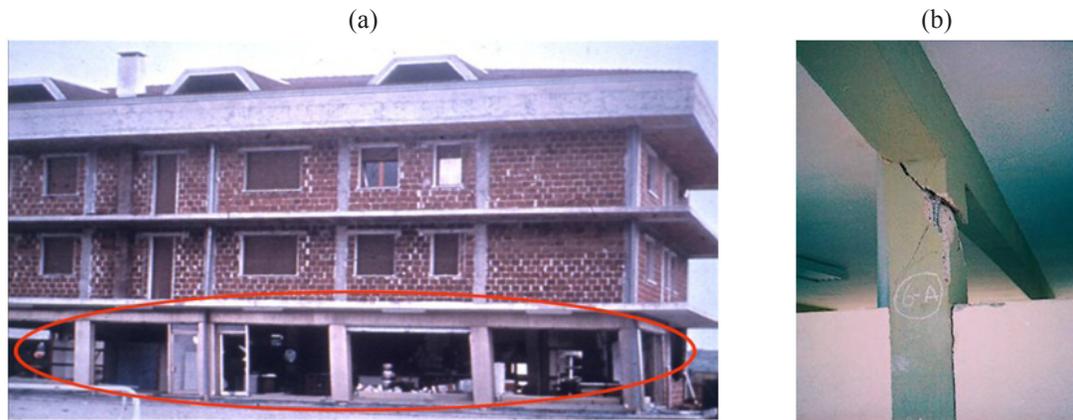


Figura 7. Efectos negativos que pueden introducir las paredes de relleno en la respuesta de edificios ante sismos: (a) Generación de un piso blando (foto cortesía de O.D. Cardona); b) Generación de falla frágil en columna corta (foto cortesía de A. Morón)



Figura 8. Caída de paredes en Los Palos Grandes durante el sismo de Caracas de 1967 (Steinbrugge, 1967)

La evolución en el tiempo y la adopción de requisitos normativos más extensos se pone de manifiesto al revisar las secciones referidas al diseño para la acción de los movimientos sísmicos contenidas en las normas venezolanas de 1939 (MOP, 1939), 1947 (MOP, 1947) y 1955 (MOP, 1955) las cuales poseían 1, 4 y 8 páginas, respectivamente, mientras que la vigente norma de 2001 (COVENIN, 2001) posee un total de 71 páginas de articulado (acompañada de 122 páginas de comentarios), complementada con 14 páginas de articulado y 10 de comentarios de Requisitos Adicionales para el Diseño Sismorresistente en la norma de concreto armado (FONDONORMA, 2006), resaltando

el incremento en el volumen y la profundidad del tema con el transcurso de los años.

La mayor vulnerabilidad de las construcciones antiguas en relación con una diseñada y construida con normas modernas, no es una característica única de nuestro país. El colapso de estructuras ha ocurrido también en Estados Unidos y en Japón, a pesar de que estos países han invertido cuantiosos recursos en el estudio, investigación y preparación de las ciudades ante los terremotos. En efecto, numerosos edificios, puentes y hospitales se derrumbaron o dañaron severamente en los sismos de tamaño moderado

de San Fernando en 1971 ($M_w=6,4$), Loma Prieta en 1989 ($M_w=6,7$) y en el sismo de Kobe de 1995 ($M_w=7,0$) en Japón (Figura 9).

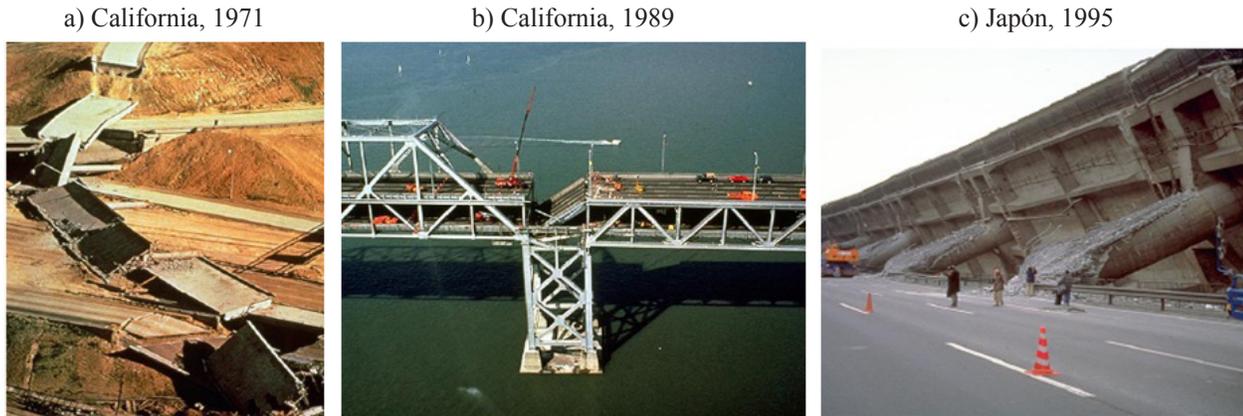


Figura 9. Puentes derrumbados en California y Japón que habían sido diseñados para resistir terremotos

A diferencia de Haití, las construcciones derrumbadas en California y Kobe sí fueron diseñadas con normas sísmicas, pero éstas demostraron ser insuficientes para proveer una protección adecuada; el conocimiento científico actual acepta que las construcciones antiguas poseen mayor vulnerabilidad y que pueden dañarse y aún derrumbarse durante un terremoto.

En conocimiento de esta realidad se han desarrollado en varios países numerosos esfuerzos hacia la reducción del riesgo sísmico en construcciones hechas con normas antiguas. Entre ellos se pueden citar la evaluación y el

refuerzo estructural de edificios escolares en California construidos antes de 1973 y de escuelas en Japón en un programa de 10 años entre 1996 y 2006. Más de 3000 puentes y viaductos fueron adecuados sísmicamente en California en el período 1973-2007 (Land & Thompson, 2007). En el Perú se han desarrollado técnicas para el refuerzo de viviendas populares de adobe mediante el uso de mallas plásticas; en la Figura 10 se compara el estado de una vivienda reforzada con otra no reforzada después de un evento sísmico simulado en una mesa vibratoria (Blondet *et al.* 2006).

a) Vivienda no reforzada



b) Vivienda reforzada con malla de plástico



Figura 10. Daños en viviendas de adobe en Perú luego de ser sujetas a un sismo simulado en una mesa vibratoria (Blondet *et al.* 2006)

En particular han sido objeto de atención especial las construcciones de mampostería no reforzada, de uso común en escuelas y edificios de pocos pisos en numerosos países durante la primera mitad del siglo XX. Al respecto se pueden citar la ordenanza de la ciudad de Los Ángeles de 1981 que obligó a reforzar todos los edificios existentes o en construcción con estos materiales (Klingner, 2004) y la Ley para Edificios de Mampostería No Reforzada del estado de California de 1986 que obliga a las autoridades

de los municipios a identificar estos edificios y a notificar a sus dueños a fin de preparar un programa de mitigación del riesgo (Mays *et al.* 1999a). A efectos de información pública, se colocaron placas de advertencia en estos edificios que dicen así: “Alerta Sísmica. Éste es un edificio de mampostería. Usted puede no estar seguro dentro o cerca de edificios de mampostería no reforzada durante un sismo” (Figura 11) (Mays, 1999b).

Earthquake Warning.

**This is an
unreinforced masonry building.
You may not be safe inside or near
unreinforced masonry buildings
during an earthquake.**

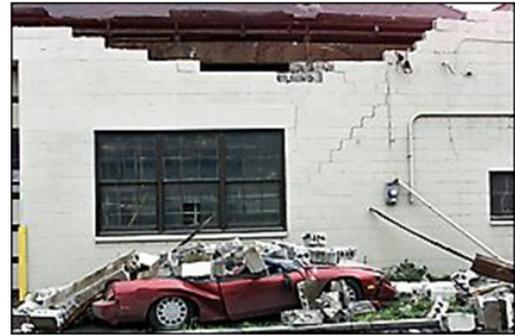


Figura 11. Placa e imagen colocada en edificios antiguos en California (Mays, 1999b)

Al respecto conviene citar la incorporación dentro de la norma sísmica de Colombia, la cual tiene carácter de obligatorio cumplimiento en construcciones públicas y privadas en todo el territorio nacional, de un articulado que obliga a la evaluación de la vulnerabilidad y al refuerzo estructural de edificaciones denominadas como indispensables y de atención a la comunidad, que incluyen centros de salud, escuelas, cuarteles de bomberos y otras, que estén ubicadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia (Congreso de Colombia, 1997). Como consecuencia, 172 de las 800 escuelas públicas de Bogotá fueron reforzadas sísmicamente y otras fueron demolidas y sustituidas por edificaciones más seguras (Coca, 2007).

AMENAZA SÍSMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE CARACAS

Amenaza sísmica

La estadística de aproximadamente un sismo diario que registra la red sismológica nacional en el país (FUNVISIS, 2012) con magnitudes mayores o iguales a 2,5, no son percibidos por la mayoría de la gente pero son, sin embargo, indicativos de los desplazamientos tectónicos que tienen lugar y que eventualmente darán lugar a rompimientos mayores de la corteza y a sismos de tamaño similar o mayor al de Haití ($M_w = 7,0$), tal como ya ha ocurrido en el pasado. Basta recordar el gran evento de 1766 con magnitud estimada $M_w \sim 7,8-8,0$ (Grases, 2002) que provocó daños en varias ciudades de Oriente y en Caracas, el terremoto de 1812 con $M_w \sim 7,2-7,5$ (Grases, 2002; Hernández, 2009(a)) que provocó la muerte de aproximadamente 10.000 personas en Caracas y el gran terremoto de 1900 con M_w entre 7,6 y 7,7 (Pacheco & Sykes, 1992) cuyos efectos no fueron tan graves por encontrarse la fuente sísmica a distancia considerable de la capital.

Estudios de la amenaza sísmica en la región norcentral del país, alrededor de la ciudad de Caracas, utilizando

información y metodologías actualizadas han estimado períodos de retorno de aproximadamente 22 y 100 años para eventos de magnitud mayor o igual a 6,0 y 6,8, respectivamente (FUNVISIS, 2009). En términos de probabilidades y usando el conocido modelo de Poisson se puede estimar una probabilidad de 10% de que Caracas se vea afectada por un evento de magnitud M_w mayor o igual a 6,8 en los próximos 10 años, capaz de liberar una energía aproximadamente cuatro veces mayor que la energía liberada por el terremoto ($M_w = 6,4$) de Caracas de 1967. En los próximos 30 años, esta probabilidad aumenta a un 26%.

Vulnerabilidad sísmica en edificios formales

Utilizando la teoría de la confiabilidad estructural y una amenaza proveniente de los estudios recientes de microzonificación sísmica (FUNVISIS, 2009), se evaluó el desempeño sísmico de edificios en Caracas (Hernández, 2009b)) construidos en diferentes épocas. Se evaluaron diez prácticas constructivas asociadas con las diferentes normas sísmicas y normas de diseño de estructuras de concreto armado que se han aplicado en la ciudad desde 1939 hasta la fecha. Si ocurriese un evento similar al de 1967 ($M_w = 6,4$ a unos 25 km de la ciudad), se tiene un 39% de probabilidad de exceder la categoría de daño severo en edificios altos que hayan sido diseñados con la Norma de 1955 (versión no oficial) localizados sobre depósitos profundos; por ejemplo, en el caso de la Urbanización Los Palos Grandes se conoce que un 52% de sus edificios fueron construidos antes de 1967 (Safina *et al.* 2009), lo cual pone de manifiesto el elevado riesgo de ese sector de la ciudad. Dicha probabilidad se reduce a un 27% si están sobre depósitos someros. Estas probabilidades se reducen a menos de 0,02% en aquellos edificios diseñados con las normas posteriores a 1982. En el caso de que ocurriese un evento sísmico ligeramente mayor, en el segmento oriental de la falla de San Sebastián, con $M_w = 6,7$ a unos 18 km, las probabilidades de exceder el estado de daño severo de edificios de mediana altura localizados sobre

depósitos profundos pueden ser hasta de un 13%, 40%, 45%, 1,8%, 0,75%, 0,01% y 0,27% para diseños hechos con las normas de 1939, 1947, 1955, 1967, 1982, 1998 y 2001, respectivamente (Hernández, 2009b). Los valores anteriores destacan el considerable mayor riesgo de los edificios hechos con las normas antiguas en relación con los hechos con las normas modernas, especialmente aquellos construidos antes de 1967. Se estima que al menos un 50% de la infraestructura del país fue desarrollada con normas sísmicas insuficientes, antes de los cambios significativos que introdujeron las normas de 1982 y 1998/2001, que amerita urgente atención, especialmente aquellas edificaciones consideradas de importancia esencial en caso de desastres como son hospitales, edificios de bomberos y protección civil y escuelas.

Vulnerabilidad sísmica en edificaciones informales

La situación de las viviendas populares en los barrios de Caracas, es más grave que la de los edificios formales y antiguos tratados en los párrafos precedentes. Son viviendas de uno a tres pisos, principalmente, aun cuando se pueden encontrar algunas de mayor altura. La tipología constructiva dominante en estas zonas da lugar a estructuras mixtas de columnas y vigas de concreto armado de pequeñas dimensiones y paredes de bloques, de baja calidad constructiva. Es común observar paredes de bloques que soportan las losas pero adolecen de suficientes elementos de confinamiento necesarios para efectos de resistir movimientos sísmicos. Es común también observar muy poco refuerzo transversal y la presencia de pisos blandos y plantas asimétricas que magnifican la vulnerabilidad a sismos. La ubicación de estas construcciones en terrenos con materiales potencialmente inestables y pendientes pronunciadas, da lugar a incrementos adicionales de la vulnerabilidad.

Es posible establecer una cierta similitud entre las viviendas de los barrios de Caracas y las viviendas en Haití destruidas por el terremoto del 2010, ya que han sido construidas sin seguir normas de diseño ni cumplir con criterios básicos de la sismorresistencia. De allí que sea previsible esperar desempeños inadecuados ante eventos sísmicos moderados y desempeños potencialmente catastróficos ante eventos sísmicos severos como el de Haití, el cual ya se comentó que no sería un evento extraño en Caracas. Se desprende entonces la necesidad de acometer a corto plazo planes para promover la sismorresistencia en la autoconstrucción de viviendas populares, en el entendido de que esta modalidad continuará siendo gran generadora de viviendas. Por otro lado deberá enfrentarse el muy complejo problema de reforzar las construcciones existentes.

Vulnerabilidad sísmica de edificios escolares

La vulnerabilidad de edificios escolares fue estudiada a nivel nacional con el objetivo de cuantificar el problema y recomendar acciones para evitar la repetición del derrumbe de edificios escolares en Cariaco durante el sismo de 1997 (IMME-FUNVISIS-FEDE, 2011; López *et al.* 2010a y b). La estrategia seguida se puede resumir en: 1) Generación de una base de datos de edificios; 2) Determinación de los efectos de los sismos en el sistema escolar nacional; 3) Asignación de índices de vulnerabilidad y riesgo mediante la inspección de edificios seleccionados; 4) Proyectos de refuerzo estructural sismorresistente y talleres de prevención en diez escuelas piloto. En una próxima y esperada etapa, estos proyectos deben ser llevados a la construcción del refuerzo en las diez escuelas piloto así como en las otras edificaciones similares que existen en el país.

Inventario de edificios escolares y efectos de los terremotos

La tarea más compleja fue la de desarrollar un inventario de edificios escolares atendiendo a las características sismorresistentes de los mismos. La recopilación de información para generar esta base de datos fue desarrollada por varias vías, entre las cuales estuvieron: a) El Censo y el Registro Escolar Nacional del Ministerio del Poder Popular para la Educación dentro del cual se insertaron preguntas específicas sobre el tema; b) La consulta a las oficinas de FEDE en cada estado del país, y c) Las inspecciones efectuadas a las escuelas por el equipo de investigación. Atención especial mereció la localización de los tipos escolares similares a los que se derrumbaron en el sismo de Cariaco de 1997. Dentro de una plataforma de información geográfica se generó información de 19.972 edificios escolares, de los cuales un 49,5% se encuentran en zonas de elevada amenaza sísmica. Un inventario de 10.730 edificios con información más completa (año de construcción, tipo constructivo y número de pisos) indica que un 25% están en las zonas de mayor amenaza y fueron construidos antes de 1982. Un total de 438 edificios son similares a los derrumbados en Cariaco en 1997 (Figura 12), de los cuales 247 están en las zonas de elevada amenaza sísmica los cuales requieren de urgente atención.

Para la determinación de los efectos sísmicos en términos de daños y pérdidas de vidas, se desarrolló una metodología fundamentada en suponer que el edificio se construyó en cumplimiento de la norma vigente de la época, desde 1939 hasta la fecha. Se definieron cuatro estados de daño en estructuras (leve, moderado, severo y colapso) y se calcularon las probabilidades de alcanzarlos para sismos futuros. La metodología se evaluó y calibró con

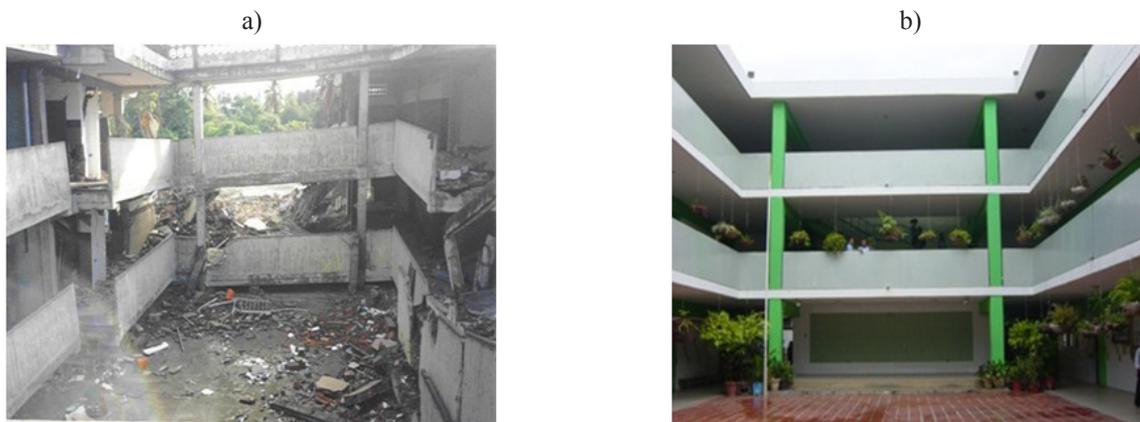


Figura 12. (a) Escuela del tipo Cajetón derrumbada en el sismo de Cariaco de 1997;
(b) Escuela similar localizada en varios lugares del país

las observaciones de campo efectuadas sobre edificios escolares durante el terremoto de Cariaco de 1997. Los edificios construidos con las normas antiguas son significativamente más vulnerables que los construidos con las normas modernas. Una escuela diseñada con la norma 2001 resiste en promedio un sismo que es entre 2 y 4 veces más intenso que una diseñada con la norma de 1955. Para un evento sísmico con una aceleración (0,30g) equivalente a la exigida en Caracas para el diseño de nuevas edificaciones, la probabilidad de alcanzar el estado de daño completo de un edificio típico diseñado con las normas de 1955 y de 1967 es 91 y 19 veces mayor, respectivamente, que la del mismo edificio construido con la norma vigente de 2001 (Coronel *et al.* 2010; Coronel & López, 2012). Considerando un sismo en Caracas con retorno de 475 años definido en el estudio de microzonificación sísmica (FUNVISIS, 2009), se obtiene que un 49% de una muestra de 569 escuelas de la ciudad calificarían como de riesgo alto o muy alto (IMME-FUNVISIS-FEDE, 2011).

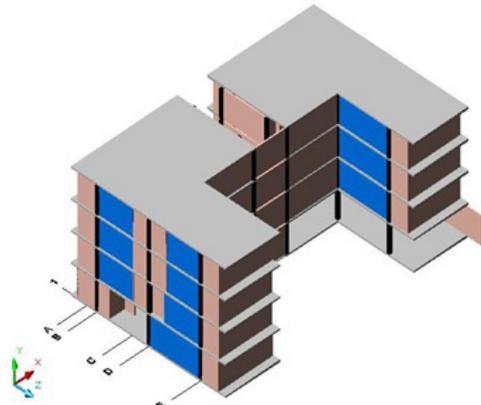
Inspección y proyectos de refuerzo de edificios escolares

Se desarrolló un instrumento de inspección rápida de edificios escolares a fin de identificar aquellas características que más influyen su vulnerabilidad ante los terremotos y se entrenó a un equipo de personas para llevar a cabo las inspecciones de 289 escuelas distribuidas en el país (Marinilli *et al.* 2010). Se incluyeron todas aquellas que pudiesen ser iguales o similares a las derrumbadas en Cariaco y las de mayor antigüedad. Se desarrolló una metodología para asignar índices de vulnerabilidad e índices de riesgo a partir de la información recolectada en campo. El índice de riesgo se obtiene combinando el índice de vulnerabilidad con el índice de amenaza y con el índice de población escolar. El índice de riesgo permite ordenar los edificios inspeccionados y seleccionar aquellos críticos que ameritan ir a una fase posterior de estudios detallados. En

una muestra de 55 escuelas de los estados Sucre y Carabobo se encontró que un 50% posee mayor vulnerabilidad que la escuela Valentín Valiente derrumbada en Cariaco.

Se definieron diez proyectos piloto para el reforzamiento estructural de los tipos constructivos más antiguos y más vulnerables, cinco en el Estado Sucre y cinco en Caracas en los cuales se dictaron talleres de prevención y formación de docentes hacia la prevención sísmica (IMME-FUNVISIS-FEDE, 2011). Las propiedades de los primeros modos de vibración fueron medidas usando técnicas de respuesta dinámica ante vibración ambiental. Tres escuelas del Estado Sucre fueron seleccionadas para instalar acelerómetros permanentes a fin de registrar sus respuestas ante futuros eventos sísmicos. Como estrategia de refuerzo se definieron estructuras auxiliares para soportar la mayor parte de las cargas sísmicas, conectadas con los diafragmas de las estructuras existentes y apoyadas sobre nuevas fundaciones de micropilotes. Los costos del refuerzo estructural variaron entre 15 y 22% del costo de reposición de la escuela. En la Figura 13 se muestra un edificio escolar de elevada vulnerabilidad cuya estructura consiste en losas apoyadas sobre columnas, sin vigas, y paredes en los tres entresijos superiores que se interrumpen en la planta baja. El refuerzo consistió en adicionar muros de concreto armado en el perímetro de la planta; la ganancia en términos de rigidez y resistencia se ilustra al comparar las curvas (corte en la base-deriva global normalizada) obtenidas de un análisis estático no-lineal de empuje progresivo de la estructura existente y de la estructura reforzada (Figura 14): Los puntos 1, 2 y 3 corresponden a las demandas de deriva que introducen eventos sísmicos con 100, 500 y 1000 años de periodo de retorno (Rodríguez & López, 2009).

a) Idealización 3D del edificio (Olivo & Sucre, 2007)

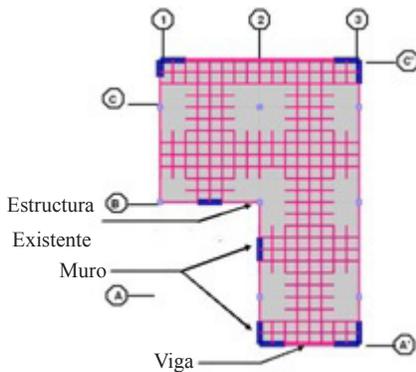


b) Ausencia de vigas y presencia de una planta baja libre



Figura 13. Edificio escolar del tipo Módulo Base, vulnerable a la acción de los sismos

a) Planta tipo indicando muros y vigas de refuerzo



b) Curvas de empuje progresivo

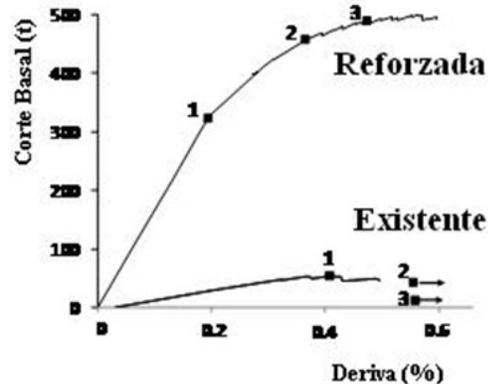


Figura 14. Refuerzo propuesto de un edificio escolar tipo Módulo Base (Rodríguez & López, 2009)

LINEAMIENTOS PARA UN PROGRAMA DE REDUCCIÓN DEL RIESGO

La microzonificación sísmica de la ciudad de Caracas (FUNVISIS, 2009) y proyectos similares en curso en otras ciudades del país, el programa de reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares (IMME-FUNVISIS-FEDE, 2011) y diversos otros estudios recientes entre los cuales se encuentran (Grases *et al.* 2004; JICA, 2005; Hernández, 2009b; Safina *et al.* 2009) constituyen sin duda esfuerzos importantes que se han realizado en los últimos años a fin de mejorar el conocimiento sobre la amenaza y la vulnerabilidad. A pesar de estos adelantos, son muy escasas las edificaciones existentes de elevada vulnerabilidad que han sido reforzadas estructuralmente por lo que estos esfuerzos no se han traducido en la práctica en una reducción efectiva del riesgo ni en la protección de la población. En el caso de las viviendas populares de los barrios, la situación es más crítica por el volumen de viviendas y por ser muy escasos los estudios efectuados en esa dirección. Se requiere audacia e inventiva para enfrentar este problema. Por otro lado, la situación de las nuevas construcciones presenta también la limitante de la

ausencia de controles efectivos que garanticen la aplicación y cumplimiento de las normas sismo-resistentes, por lo que una nueva construcción no siempre se traduce en mayor seguridad. No hay duda de que resta mucho por hacer para proteger nuestras ciudades y a la población ante los efectos de los terremotos.

Se proponen a continuación unos lineamientos prácticos para un programa de reducción del riesgo que proteja a la población y a la infraestructura de los próximos terremotos, el cual pudiera iniciarse como proyecto pilotos en algún municipio del país. Se contempla tanto el caso de las construcciones existentes como el de las futuras construcciones.

Reforzamiento de Edificaciones Vitales

El objetivo de este programa es garantizar la operatividad de la infraestructura necesaria en situaciones de emergencia, definidas aquí como edificaciones vitales, tales como hospitales, edificios de bomberos y protección civil, escuelas, viaductos y puentes estratégicos y edificios de asiento de los poderes públicos, mediante la aplicación

del conocimiento y de las tecnologías existentes. Visto el volumen y magnitud del problema, el esfuerzo debe disponer de un procedimiento de ordenamiento y jerarquización de las construcciones a revisar y reforzar. Se priorizarían en primer lugar por su localización en el país privilegiando aquellas construcciones en las zonas de mayor amenaza, y luego por su antigüedad reconociendo la mayor vulnerabilidad en aquellas construidas antes de 1982 y especialmente antes de 1967. El proceso de priorización debe incorporar visitas de inspección a las edificaciones a fin de recolectar información básica en un tiempo relativamente corto, que permita cuantificar en términos comparativos la vulnerabilidad de la construcción. Para ello está disponible un procedimiento de asignación de índices de vulnerabilidad y de priorización sísmica desarrollado recientemente en FUNVISIS (López *et al.* 2011). El trabajo de recolección de información puede facilitarse con la incorporación de estudiantes universitarios de las carreras de ingeniería civil o arquitectura quienes pueden hacer esta actividad como una pasantía o como un servicio comunitario.

El financiamiento de este programa de evaluación y reforzamiento estructural estaría a cargo del organismo responsable de la edificación, gobierno local, estatal o nacional, o sector privado en el caso de clínicas y hospitales manejados por ese sector. A efectos de poner en práctica este programa, se deberá desarrollar la norma que establezca la obligación de la institución responsable de la edificación de proceder a la evaluación y reforzamiento sísmico de aquellas edificaciones definidas como vitales en la misma norma. A estos efectos, el reglamento establecería un plazo máximo de tres años para completar la evaluación de la vulnerabilidad y diagnóstico de la edificación, y un lapso posterior de tres años para acometer el reforzamiento y adecuación a las normas sismorresistentes vigentes. En ese sentido, la actualización de la norma sismorresistente nacional establecería los requerimientos a cumplir en el reforzamiento sísmico de la edificación existente, requerimientos que no necesariamente tendrían que ser idénticos a los exigidos en el diseño de nuevas edificaciones y pudieran aceptarse niveles de desempeño menos exigentes teniendo en cuenta la vida útil ya cubierta por la construcción.

Adicionalmente a las edificaciones vitales, se deberá evaluar también con carácter prioritario el sistema de generación y transmisión de energía eléctrica de manera de garantizar su operatividad después de un sismo. Atención especial tendrán los equipos de las subestaciones eléctricas de voltaje igual o mayor a 220 Kv por su comprobada vulnerabilidad a sismos (Ostrom, 2004).

Reforzamiento de otras Edificaciones

En primer lugar se establecería la ordenanza necesaria a nivel municipal para promover la evaluación y refuerzo sismorresistente de edificios existentes de vivienda, oficinas, comercio, entre otros, bajo el marco de la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 2009). La ordenanza establecería la exoneración del pago de ciertos impuestos durante un número de años a los propietarios de inmuebles que completen un estudio de vulnerabilidad sísmica, y una exoneración adicional a aquellos que lleven a la práctica la construcción del refuerzo cuando sea exigido por el citado estudio. El estudio y el proyecto de refuerzo serían efectuados por un especialista en la disciplina de ingeniería sismorresistente y serían a su vez sujeto a revisión y aprobación por parte de un especialista independiente nombrado por el organismo municipal, según se establecería en la ordenanza correspondiente. La ordenanza incorporaría un criterio para identificar las edificaciones que deben ir al estudio de vulnerabilidad sísmica, tomando en consideración el año de construcción, la localización de la construcción en la ciudad y la importancia y número de ocupantes del inmueble. Por ejemplo, serían de carácter prioritario las edificaciones construidas antes de 1967 de más de seis pisos y localizadas sobre depósitos de sedimentos de gran espesor. Análogamente al caso de las edificaciones vitales, las exigencias técnicas de refuerzo estructural estarían definidas en la actualización de la norma sismorresistente nacional.

En el ámbito de las viviendas populares de los barrios se deberían generar manuales didácticos de reforzamiento sismorresistente utilizando técnicas de fácil acceso por la población. Una de las opciones de refuerzo pudiera ser el uso del friso armado para mejorar la capacidad para resistir carga lateral de las paredes de mampostería y suministrarle mayor integridad a la vivienda en su conjunto. La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS pudiese estar a cargo de la generación y publicación de manuales y videos describiendo estas técnicas, que luego serían distribuidos en forma masiva.

Seguridad de las nuevas construcciones

Normas y reglamentos

Se deberán generar las ordenanzas necesarias para que efectivamente se realice una revisión de los aspectos estructurales y sismorresistentes de los proyectos de construcción que se tramitan en las ingenierías municipales,

con la finalidad de garantizar el cumplimiento estricto de la norma sismorresistente. Estas revisiones, de aplicación estricta en países sísmicos, no son, sin embargo, exigidas en la vigente Ley Orgánica de Ordenación Urbanística pero sí lo eran antes de la aprobación de la ley en 1987. Igualmente, las instituciones del estado que desarrollan proyectos de construcción deberían implementar los necesarios mecanismos de revisión independiente por parte de un ingeniero experimentado.

La norma sismorresistente nacional vigente desde el año 2001 debería ser revisada a fin de incorporar las nuevas experiencias y conocimientos desarrollados en el país y en el mundo en esta disciplina. El mapa de zonificación deberá ser revisado a fin de incorporar los adelantos en el conocimiento de la amenaza sísmica en el país así como los modelos de atenuación de los movimientos sísmicos desarrollados recientemente. Los resultados de los estudios de microzonificación deben ser incorporados en las ordenanzas municipales de cada ciudad. En el ámbito del diseño se deberían incorporar en la norma nacional especificaciones más precisas y estrictas sobre la disposición de las paredes de relleno de mampostería, a fin de garantizar que estos componentes considerados como no-estructurales en el diseño no afecten desfavorablemente el desempeño estructural. Por ejemplo, una manera sería penalizando con menores factores de ductilidad o de reducción cuando las paredes se adosan a los pórticos y favoreciendo con mayores factores cuando se aíslan de los mismos. Igualmente se deberían incorporar mayores penalizaciones a las situaciones de plantas débiles o pisos suaves generados por las paredes de relleno así como a las situaciones de columnas cortas a fin de desestimular estas prácticas inadecuadas. Por otro lado debería obligarse a que en los proyectos las paredes quedasen debidamente ancladas a la estructura a fin de garantizar su estabilidad (Figura 8).

Es obvio que estas acciones deberían ir acompañadas de una aplicación estricta de sanciones a los funcionarios públicos o privados que violen las normas y reglamentos, tanto a los que diseñan y construyen como a los que supervisan, inspeccionan y otorgan los permisos reglamentarios. En el ámbito educativo deberían fortalecerse los programas donde se enseñe la ética y la responsabilidad profesional, donde se privilegie el compromiso social sobre el beneficio económico en la toma de decisiones, responsabilidad con la gente pero también con el ambiente. También debería ir acompañada de exigencias de actualización continua de los profesionales calculistas e inspectores.

Grupo de respuesta rápida en emergencias

Bajo la coordinación de FUNVISIS y Protección Civil se constituirán grupos de respuesta rápida formados por profesionales entrenados en la revisión de estructuras, que actuarían en caso de que ocurriese un evento sísmico que dañase un número significativo de construcciones. Los grupos estarían constituidos por ingenieros provenientes del sector público, del sector académico y del privado, indistintamente, de acuerdo a la reglamentación que se establecería para esos efectos. La reglamentación debería asegurar que los grupos de inspectores tengan la autoridad requerida para efectos de ordenar la desocupación de una edificación dañada que ponga en peligro la seguridad de sus ocupantes.

Manuales de autoconstrucción de viviendas

En el ámbito de la vivienda popular se deberían desarrollar manuales o cartillas de construcción sismorresistente, de carácter didáctico, con información más gráfica que escrita, que serán difundidos masivamente por televisión, en forma impresa y por Internet.

Comisión Nacional de Construcciones Sismorresistentes

Convendría constituir una Comisión Nacional de Construcciones Sismorresistentes que tenga carácter permanente y esté adscrita al Ministerio de Ciencia y Tecnología o al Ministerio de la Vivienda. Su objetivo sería de servir de organismo asesor del estado en las materias asociadas con las construcciones y su protección contra los terremotos. Sus funciones primordiales serían: 1) La revisión permanente y actualización de las normas y manuales de construcción; 2) La evaluación y aprobación de los sistemas constructivos novedosos, no tipificados, que se escapan del alcance de las normas establecidas y que requieren de una revisión y evaluación de parte de especialistas a fin de garantizar la seguridad estructural para la protección de la vida de los futuros usuarios, y 3) Asesorar en los casos especiales que lo amerite a las ingenierías municipales y organismos del estado que tramitan permisos de construcción en zonas de elevada amenaza sísmica. Esta última función es especialmente importante en el ámbito de la Gran Misión Vivienda Venezuela en la cual, motivado a la urgencia de satisfacer las necesidades de miles de familias, se importan sistemas constructivos de países donde la amenaza sísmica no es el factor dominante, o se desarrollan localmente novedosos sistemas constructivos no tipificados en las normas que no tienen el respaldo experimental necesario para garantizar su seguridad en zonas sísmicas. Esta revisión y evaluación es

doblemente necesaria cuando se desarrollan proyectos cuya construcción es de carácter repetitivo, es decir un único diseño estructural tiene incidencia en un número grande de construcciones y de usuarios.

Fondo Nacional de Financiamiento Sismorresistente

La creación del Fondo Nacional de Financiamiento Sismorresistente con recursos del estado tendría como finalidad atender a las necesidades de evaluación y reforzamiento estructural de las edificaciones definidas como vitales en esta propuesta, de acuerdo a lo exigido en la norma establecida para ello. En segundo lugar, financiaría el funcionamiento de la Comisión Nacional de Construcciones Sismorresistente cuyas atribuciones se describieron en el párrafo precedente. En tercer lugar, el fondo financiaría la actuación de los grupos de respuesta rápida descritos previamente en caso de la ocurrencia de un evento sísmico.

Desarrollo de una Cultura Sismorresistente; Información y divulgación

El éxito de estas acciones sólo se pudiese garantizar con un cambio en la percepción del problema por parte de la población y de las autoridades, para lo cual se requiere de preparar un programa de difusión que mediante el uso de medios masivos de comunicación logre implantar una cultura de preparación ante los futuros terremotos. El uso de la televisión y de Internet es obligatorio. Vista la enorme capacidad productiva del sector de construcción popular, es altamente deseable disponer en forma permanente de manuales y guías que orienten en la tarea de construir viviendas seguras.

CONCLUSIONES

Las experiencias dejadas por la observación de los efectos de los terremotos pone de manifiesto que en términos generales las construcciones se dañan o se derrumban debido a una de las razones siguientes: i) A la ausencia de una norma sismorresistente, ii) al incumplimiento de la norma aun existiendo ésta o, iii) a la insuficiencia de la misma aun cuando se haya cumplido con sus requerimientos. La catástrofe producida por el terremoto de Haití en 2010 puso en evidencia de una manera dramática la importancia de las normas sísmicas, destacando como la ausencia de la misma y el incumplimiento de los principios básicos de la ingeniería sismorresistente conducen a una catástrofe.

La norma sismorresistente nacional vigente desde el año 2001 debe ser revisada a fin de incorporar las nuevas

experiencias y conocimientos desarrollados en el país y en el mundo. El mapa de zonificación deberá ser actualizado a fin de incorporar los adelantos en el conocimiento de la amenaza sísmica en el país así como los novedosos modelos de atenuación desarrollados recientemente. Los resultados de los estudios de microzonificación deben ser incorporados en las ordenanzas municipales de cada ciudad. En el ámbito del diseño se deberían incorporar en la norma nacional especificaciones más estrictas sobre la disposición de las paredes de relleno de mampostería, a fin de garantizar que estos componentes no afecten desfavorablemente el desempeño estructural.

La existencia de una norma de construcción sismorresistente, no necesariamente garantiza su correcta aplicación y su cumplimiento. El derrumbe de un único edificio en la ciudad de Cumaná durante el sismo de Cariaco del año de 1997 puede ser atribuido al incumplimiento de las normas de diseño vigentes en ese momento lo cual condujo a una construcción altamente vulnerable que fue derribada por el movimiento sísmico de intensidad relativamente baja en esa ciudad. Las construcciones populares en los barrios de Caracas han sido construidas sin cumplir con las normas vigentes de diseño sismorresistente y son en general altamente vulnerables a la acción de los sismos. Estas situaciones se pueden enfrentar con: i) Nuevas ordenanzas para que efectivamente se realice una revisión de los aspectos estructurales y sismorresistentes por parte de un profesional independiente, con la finalidad de garantizar el cumplimiento estricto de las normas en las nuevas construcciones; ii) La distribución de manuales de autoconstrucción sismorresistente de viviendas populares; iii) Una aplicación estricta de sanciones a los que violen las normas y reglamentos, tanto a los que diseñan y construyen como a los que permiten el surgimiento de construcciones sin los permisos correspondientes; iv) El fortalecimiento de programas educativos donde se privilegie el compromiso social sobre el beneficio económico en la construcción.

Las construcciones hechas en el país antes de 1982 y especialmente antes de 1967, aun cuando hayan sido objeto de un diseño sismorresistente, son vulnerables ante la acción de los sismos y deben ser objeto de revisión y eventualmente de refuerzo estructural. Se deben priorizar las construcciones vitales que son necesarias en emergencias, las de mayor antigüedad y las localizadas en las zonas de mayor amenaza. Nuevas ordenanzas son necesarias en donde se establecería un plazo máximo de tres años para completar la evaluación de la vulnerabilidad y diagnóstico de la edificación, y un lapso posterior de tres años para acometer el reforzamiento y adecuación a las normas sismorresistentes vigentes. La ordenanza

establecería la exoneración del pago de ciertos impuestos durante un número de años a los propietarios de inmuebles que completen el estudio de vulnerabilidad sísmica y lleven a la práctica la construcción del refuerzo.

El éxito de estas acciones sólo se pudiese garantizar con un cambio en la percepción del problema por parte de la población y de las autoridades para lo cual se requiere del uso de medios masivos de comunicación para implantar una cultura de preparación ante los futuros terremotos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la discusión y las oportunas sugerencias hechas a este artículo por los Profesores Gustavo Coronel y Alfonso Malaver así como por los tres árbitros que tuvieron la paciencia de leerlo y aportar valiosos comentarios que sin duda mejoraron la calidad del trabajo.

REFERENCIAS

ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (2009). Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009.

AUDEMARD, F. A. (2006). Surface Rupture of the Cariaco July 09, 1997, Earthquake on El Pilar Fault, Northestern Venezuela. *Tectonophysics* 424, 19-39.

BLONDET, M., TORREALVA, D., VARGAS, J., GINOCCHIO, F., VELÁSQUEZ, J. (2006). Seismic Reinforcement of Adobe Houses using External Polymer Mesh. 8NCEE, San Francisco, April 2006.

BONILLA, R., LÓPEZ, O. A., CASTILLA, E., TORRES, R., MARINILLI, A., ANICCHIARICO, W., GARCÉS, F., MALDONADO, Z. (2000). El Terremoto de Cariaco del 9 de Julio de 1.997. *Boletín Técnico IMME*, Volumen, 38, N° 2, 2.000, 1-50.

COCA, C. (2007). Disaster Risk Reduction and School Safety in Bogota. *Regional Development Dialogue*, Vol. 28, No. 2, Autumn 2007. 2008 United Nations for Regional Development.

CONGRESO DE COLOMBIA. (1997). Ley 400 de 1997, por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes. *Diario Oficial* No. 43.113 de agosto 25 de 1997. Bogotá, Colombia.

CORONEL, D. G. & LÓPEZ, O.A. (2012). Curvas de Fragilidad Sísmica para Edificios Escolares de Venezuela. *Boletín Técnico IMME*, Febrero 2012, (En revisión).

CORONEL, D. G., LÓPEZ, O.A., BETANCOURT, N. (2010). Desarrollo de una herramienta basada en SIG para la evaluación de daños y pérdidas debidos a terremotos en edificios escolares de Venezuela. *CINMENICS* 2010, Mérida.

COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:01. Comisión Venezolana de Normas Industriales, Caracas, Venezuela.

EERI. (2008). NGA, Earthquake Spectra, Volume 24, No 1, February 2008, Earthquake Engineering Research Institute.

EERI. (2010a). The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010: Report #1. EERI Special Earthquake Report-April 2010, Learning from Earthquakes.

EERI. (2010b). The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010: Report #2. EERI Special Earthquake Report-May 2010, Learning from Earthquakes.

FIERRO, E. & PERRY, C. (2010). Preliminary Reconnaissance Report-12 January 2010 Haiti Earthquake. BFP Engineers, 12pp.

FONDONORMA. (2006). Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural. Norma Venezolana 1753-2006. FONDONORMA, Agosto 2006, Caracas, Venezuela.

FUNVISIS. (2009). Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto. Proyecto FONACIT No 200400738, Caracas, junio 2009.

FUNVISIS (2012). www.funvisis.gob.ve.

Grases, J. (2002). Introducción a la Evaluación de la Amenaza Sísmica en Venezuela; Acciones de Mitigación. Fundación Pedro Grases, Caracas, 2002.

GRASES, J., MALAVER, A., MONTES, L., GONZÁLEZ, M., HERRERA, C., ACOSTA, L., LUGO, M., MADRIZ, J., HERNÁNDEZ, J., VARGAS, R. (2004). Amenazas Naturales y Vulnerabilidad en Cumaná. *Boletín Técnico IMME*, Vol. 42, N. 3, pp 57-80.

- HANSON, R. D. & DEGENKOLB, H. J. (1975). The Venezuela Earthquake July 29, 1967. American Iron and Steel Institute (AISI), New York.
- HERNÁNDEZ, J. J. (2009a). Revisión de la Sismicidad y Modelo Sismogénico para Actualización de las Evaluaciones de Amenaza Sísmica en la Región Norcentral de Venezuela. IX Congreso Venezolana de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas, 19 al 22 de Mayo de 2009.
- HERNÁNDEZ, J.J. (2009b). Confiabilidad Sísmica Estructural de Edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela. Jornadas CIV, Caracas, 18 y 19 de Septiembre de 2009.
- IMME. (1998). Evaluación Sismorresistente de las Edificaciones derrumbadas durante el Sismo de Cariaco del 09-07-1997. Informe No 2009209, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales IMME, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 20 de Agosto de 1998.
- IMME-FUNVISIS-FEDE. (2011). Informe Técnico Final del Proyecto “Reducción del Riesgo Sísmico en Edificios Escolares de Venezuela”, Proyecto FONACIT 2005000188, diciembre 2011, Caracas.
- JICA. (2005). Estudio Sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela. Informe Final. Agencia de Cooperación Internacional de Japón (Jica), Distrito Metropolitano de Caracas, República Bolivariana de Venezuela, Marzo 2005.
- KLINGNER, R. (2004). Seismic Behaviour and Design of Masonry. Chapter 17 in: Earthquake Engineering, by Y. Bozorgnia and V. Bertero. CRC Press, 2004.
- LAND, R. & THOMPSON, K. (2007). The Challenge of Achieving Seismic Safety. 1st US-Italy Seismic Bridge Workshop, April 19-20, 2007.
- LANG, A. F. & MARSHAL, J. D. (2011). Devil in the Details: Success and Failure of Haiti’s Nonengineered Structures. Earthquake Spectra. Vol. 27, Issue 4, November 2011.
- LÓPEZ, O. A., HERNÁNDEZ, J.J., DEL RE, G., PUIG, J., ESPINOSA, L. F. (2007). Reducing Seismic Risk of School Buildings in Venezuela. Earthquake Spectra, Vol. 23, No 4, p 771-790, November 2007.
- LÓPEZ, O. A., MARINILLI, A., BONILLA, R., FERNÁNDEZ, N., DOMÍNGUEZ, J., BALOA, T., CORONEL, G., VIELMA, R. (2010a). Evaluación Sismorresistente de Edificios Escolares en Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, Vol. 25, No 4.
- LÓPEZ, O. A., MARINILLI, A., BONILLA, R., FERNÁNDEZ, N., DOMÍNGUEZ, J., CORONEL, G., RODRÍGUEZ, D., TENREIRO, E., VIELMA, R. (2010b). “Seismic Risk Reduction in Venezuelan Schools”. 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering. July 25-29 2010, Toronto, Canada.
- LÓPEZ, O. A., CORONEL, G., ASCANIO, W., ROJAS, R., RENGEL, J. G., GONZÁLEZ, J., PÁEZ, V., OLBRICH, F. (2011). Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. Informe Técnico FUN-019, 2011. FUNVISIS.
- MARINILLI, A., FERNÁNDEZ, N., LÓPEZ, O. A., CORONEL, G. (2010). “Seismic Evaluation of School Buildings in Venezuela”. 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering. July 25-29, Toronto, Canadá.
- MARSHALL, J. D., LANG, A. F., BALDRIDGE, S. M., POPPC, D. R. (2011). Recipe for Disaster: Construction Methods, Materials, and Building Performance in the January 2010 Haiti Earthquake. Earthquake Spectra, Vol 27, Issue 4, November 2011.
- MAYS, P. J., FEELEY, T. J., WOOD, R. (1999a). Adoption and Enforcement of Earthquake Risk-Reduction Measures. Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER 1999/04, Richmond, California.
- MAYS, P. J. & KORNFIELD, L (1999b). Older Hazardous Concrete Buildings, Policy Issues. Presentación en el Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER, Richmond, California.
- MOP. (1939). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios. Caracas, Venezuela.
- MOP. (1947). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. Caracas, Venezuela.
- MOP. (1955). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. Caracas, Venezuela.

- MOP. (1967). Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios. Caracas, Venezuela.
- MOP. (1978). Segunda Fase del Estudio del Sismo Ocurrido en Caracas el 26 de Julio de 1967. Volumen A. Ministerio de Obras Públicas, Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo. FUNVISIS, 1978.
- OLIVO, M. A. & SUCRE, M. (2007). Evaluación Sismorresistente de Edificaciones Escolares Tipo Módulo Base. Tesis para optar al Grado de Ingeniero Civil, EIC-FI Universidad Central de Venezuela, Octubre 2007.
- OSTROM, D. K. (2004). Database of Seismic Parameters of Equipment in Substations. PEER Lifelines Task 413 Final Report. Pacific Earthquake Engineering Research Center, UC Berkeley, July 2004.
- PACHECO, J. F. & SYKES, L. R. (1992). Seismic Moment Catalog of Large Shallow Earthquakes, 1900 to 1989. BSSA, Vol. 82, No 3, pp 1306-1349, June 1992.
- RODRÍGUEZ, D. & LÓPEZ, O.A. (2009). Adecuación y Reducción del Riesgo Sísmico de una Escuela Tipo Módulo Base. IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas.
- SAFINA, S., LÓPEZ, A., LUIS, A., CASTILLO, L., MARVAL, N., GONZÁLEZ, J., PRIETO, J. (2009). Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en el Municipio Chacao, Área Metropolitana de Caracas. Informe Técnico. Agosto, 2009.
- SKINNER, R. I. (1969). Damage Mechanisms and Design Lessons from Caracas. Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 3, págs. J-2. 124 a 136. Santiago de Chile.
- SOZEN, M., JENNINGS, P., MATTIESEN, R., HOUSNER, G., NEWMARK, N. (1968). Engineering Report on the Caracas earthquake of July 29. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- STEINBRUGGE, K. V. (1967). Steinbrugge Collection, NISEE, PEER, University of California, Berkeley. <http://peer.berkeley.edu/>.
- TIME. (2010). Haiti: The Destruction Seen from the Air. Time Photos.
http://www.time.com/time/photogallery/0,29307,1953689_2024369,00.html.