

ÍNDICES DE PRIORIZACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN EDIFICACIONES EXISTENTE

OSCAR ANDRÉS LÓPEZ¹, GUSTAVO CORONEL D.¹, ROMME ROJAS²

¹ IMME, Facultad de Ingeniería, UCV, y Asesor de FUNVISIS

² FUNVISIS, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas

Recibido: julio 2013

Recibido en forma final revisado: mayo 2014

RESUMEN

Se presenta un procedimiento para la asignación de índices de vulnerabilidad, de riesgo y de priorización sísmica de un número elevado de edificaciones existentes que puedan estar localizadas en cualquier lugar de Venezuela. Los índices son calculados a partir de información básica obtenida de una visita e inspección de corta duración a la edificación. El índice de priorización se determina como el producto de los índices de amenaza, vulnerabilidad e importancia, el cual considera el uso del edificio y el número de ocupantes. El procedimiento considera las tipologías constructivas típicas del país, incluyendo viviendas populares, e incorpora las experiencias de los sismos destructores de Caracas en 1967 y Cariaco en 1997. Para edificaciones localizadas en el Área Metropolitana de Caracas, el procedimiento propuesto toma en consideración la microzonificación sísmica de la ciudad. Los resultados de la aplicación del procedimiento propuesto sirven para seleccionar aquellas edificaciones críticas que requieran evaluaciones estructurales más detalladas y apuntalar decisiones hacia una gestión integral del riesgo sísmico. El procedimiento se ilustra mediante su aplicación en una muestra de 154 edificios localizados en una parroquia de Caracas.

Palabras clave: Índices de priorización, Riesgo sísmico, Vulnerabilidad, Edificios existentes.

PRIORITIZATION INDICES FOR SEISMIC RISK MANAGEMENT IN EXISTING BUILDINGS

ABSTRACT

A procedure for the allocation of vulnerability, risk and seismic prioritization indices of a large number of existing buildings, located anywhere in Venezuela, is presented. The indices are calculated from basic information obtained from a short duration visit and inspection to the building. The prioritization index is determined from the product of the of hazard, vulnerability and importance indices which considers the building use and the number of occupants. The procedure takes into account typical construction types of the country including popular housing and incorporates the experiences of the destructive earthquakes of Caracas in 1967 and Cariaco in 1997. For buildings located in the Metropolitan Area of Caracas, the proposed procedure takes into account the seismic micro zoning of the city. The results of the implementation of the proposed procedure are used to select those critical buildings that require more detailed structural evaluations and support decisions toward an integrated management of seismic risk. The procedure application is illustrated in a group of 154 buildings located in a county of Caracas.

Keywords: Prioritization indices, Seismic risk, Vulnerability, Existing buildings.

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Las ciudades venezolanas más importantes están sujetas a la amenaza de los terremotos; una mirada a la historia revela que en el pasado han ocurrido eventos destructores de gran magnitud, como los terremotos de los años 1766, 1812, 1894 y 1900, por lo que eventos similares volverán a ocurrir en una fecha que no se puede determinar con precisión. Por otro lado, es conocido que una parte significativa de

las edificaciones existentes fueron hechas con normas de construcción insuficientes a la luz del conocimiento actual en la materia de la ingeniería sismorresistente. De allí surge la necesidad de evaluar el riesgo presente en las construcciones existentes, especialmente las de mayor antigüedad, a fin de tomar las acciones preventivas necesarias para protegerlas y evitar las pérdidas humanas y económicas que se pudiesen generar durante el inevitable sismo que ha de venir.

La gestión para la reducción del riesgo sísmico en poblaciones que contengan un volumen elevado de edificaciones, exige del uso de procedimientos sencillos que puedan ser aplicados en un tiempo corto a muchas construcciones, pero que puedan capturar las características esenciales del edificio que condicionan su desempeño estructural ante un sismo.

Varias metodologías han sido desarrolladas con esa finalidad y se pueden encontrar en la bibliografía especializada sobre el tema. En Hassan & Sozen (1997), se propuso un método para seleccionar los edificios de mayor vulnerabilidad sísmica dentro de un inventario de edificios de baja altura de concreto reforzado. El método requiere de calcular el área total de las secciones de muros y de columnas presentes en la base del edificio y dividirla entre el área total de las losas por encima de dicho nivel. Usando un grupo de edificios que sufrieron daños durante el terremoto de Erzican de 1992, se encuentra que el método refleja en forma satisfactoria el daño observado.

El procedimiento más conocido para la evaluación de edificios es el desarrollado por el ATC y financiado por la Agencia para el Manejo de Desastres de los Estados Unidos, presentado en FEMA 154 (FEMA, 2002) y originalmente publicado en 1988, el cual ha sido ampliamente aplicado en ese país y también adecuado y utilizado en otros países. A partir de una inspección de corta duración, se le asigna una puntuación al edificio la cual permite definir si el mismo debe ir a una evaluación detallada. La puntuación mide la confiabilidad sísmica del edificio, es decir, un valor alto significa elevada confiabilidad y bajo riesgo. A partir de una puntuación inicial basada en el tipo constructivo y en la amenaza sísmica en el sitio, se suman o restan puntos dependiendo de la altura del edificio, de las irregularidades en elevación y en planta, de la edad de la construcción y del tipo de suelo.

La vulnerabilidad sísmica de todos los edificios escolares localizados en los distritos de Chorrillos y Barranco en Lima, Perú, fue evaluada usando una metodología que incluye una inspección visual de las estructuras, similar al FEMA 154 (FEMA, 2002), agregando una estimación del desempeño esperado y la población escolar (Meneses & Zenón, 2004). Se concluyó que el método es capaz de capturar las características básicas del edificio escolar para una evaluación rápida, confiable y económica de la vulnerabilidad sísmica. En la India se desarrolló un método para la evaluación rápida de edificios de concreto armado la cual se basa en el estudio sistemático de los daños observados durante el sismo de Bhuj del año 2001 (Jain *et al.* 2010). El método utiliza seis parámetros de vulnerabilidad: presencia

de sótanos, número de pisos, calidad de mantenimiento, esquinas reentrante, pisos blandos y columnas cortas. Adicionalmente, se asigna una puntuación según el uso del edificio, la zona sísmica y el tipo de suelo.

En Venezuela se ha desarrollado un procedimiento para la asignación de índices de vulnerabilidad, riesgo y priorización en edificios escolares del país (López, 2008; Marinilli *et al.* 2012); el método está limitado a edificaciones de no más de cuatro pisos y a las tipologías constructivas típicas de las escuelas venezolanas. El procedimiento fue aplicado a un total de 293 edificios escolares distribuidos en todo el país.

Este trabajo tiene como propósito desarrollar un procedimiento para la asignación de índices de vulnerabilidad, de riesgo y de priorización sísmica que pueda ser aplicado a un número elevado de edificaciones existentes localizadas en cualquier lugar del país. Los índices deben ser asignados a partir de la información recopilada en sitio en una inspección de corta duración.

El procedimiento no pretende cuantificar en forma absoluta los niveles de vulnerabilidad y riesgo de la edificación, sino más bien suministrar índices que permitan comparar una edificación con otra a fin de definir prioridades hacia estudios detallados posteriores que permitan la toma de decisiones y eventuales intervenciones de refuerzo estructural, bajo el marco de la prevención ante la futura ocurrencia de terremotos. El procedimiento ha sido desarrollado dentro del Proyecto SismoCaracas que persigue reducir el riesgo sísmico de la ciudad capital. Financiado por el FONACIT el proyecto lo desarrolla FUNVISIS con el apoyo del IMMEFI-UCV. La planilla de captación de datos y el manual de usuario para la aplicación del procedimiento se presenta en el Informe Técnico de FUNVISIS (López *et al.* 2014).

ÍNDICE DE PRIORIZACIÓN DE EDIFICACIONES

El Índice de Priorización se define tomando en consideración la amenaza sísmica en el sitio, la vulnerabilidad de la estructura y la importancia de la construcción. El Índice de Priorización (I_p) se obtiene a partir de:

$$I_p = I_A \cdot I_V \cdot I_I \quad (1)$$

donde: I_A es el Índice de Amenaza, I_V es el Índice de Vulnerabilidad y I_I es el Índice de Importancia. El producto de los índices de amenaza y vulnerabilidad ($I_A \cdot I_V$) representa el Índice de Riesgo (I_R) de la edificación.

ÍNDICE DE AMENAZA

En la Tabla 1 se presentan los valores del Índice de Amenaza (I_A) los cuales son seleccionados considerando: 1) La relación que guardan los valores del coeficiente (A_o) de la aceleración del terreno en roca en las siete zonas sísmicas definidas en la norma sismorresistente nacional (COVENIN, 2001), y 2) La incorporación del efecto topográfico que amplifica el índice de amenaza en aproximadamente un 10 %. Nótese que los valores propuestos para I_A en la Tabla 1 guardan la misma proporción que guardan los valores de A_o en las diferentes zonas y han sido normalizados de manera tal que el mayor valor de 1 corresponde a la zona de mayor amenaza (Zona 7) cuando se consideran efectos topográficos.

Tabla 1. Valores del Índice de Amenaza (I_A)

Zona	Peligro Sísmico	A_o (Covenin, 2001)	I_A	
			Sin efectos topográficos	Con efectos topográficos
7	Elevado	0,40	0,90	1
6		0,35	0,80	0,88
5		0,30	0,68	0,75
4	Intermedio	0,25	0,56	0,63
3		0,20	0,45	0,50
2	Bajo	0,15	0,34	0,38
1		0,10	0,23	0,25
0		-	0,05	0,05

En el caso de la ciudad de Caracas, los valores de I_A se modifican para los efectos de incorporar los resultados del estudio de microzonificación de la ciudad (FUNVISIS, 2009; Hernández *et al.* 2009). En la Tabla 2 se dan los valores del coeficiente A_o para las cuatro Macrozonas de Caracas (Figura 1). Para determinar la Macrozona en la cual se encuentra una edificación véase FUNVISIS (2009), el cual puede descargarse desde FUNVISIS (2013). Los valores del Índice de Amenaza I_A para cada macrozona dados en la Tabla 2 se seleccionaron siguiendo el mismo criterio anterior: proporcionalidad con los resultados del estudio de microzonificación (A_o) y un 10% aproximado de incremento por efectos topográficos. Cuando se disponga de resultados de la microzonificación de otras ciudades del país, se podrían incorporar sus resultados en el índice de amenaza siguiendo un procedimiento similar al descrito en la Tabla 2 para la ciudad de Caracas.

Tabla 2. Valores del Índice de Amenaza (I_A) para el Área Metropolitana de Caracas

Macrozona (FUNVISIS, 2009)	A_o	I_A	
		Sin efectos topográficos	Con efectos topográficos
Sur	0,30	0,68	0,75
Centro Sur	0,265	0,60	0,66
Centro Norte	0,28	0,64	0,70
Norte	0,30	0,68	0,75

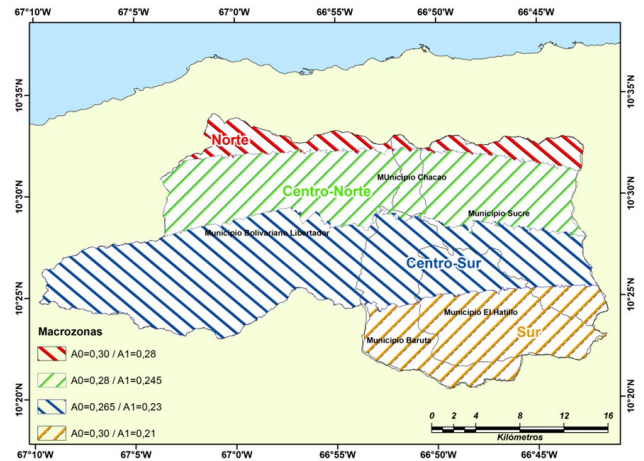


Figura 1. Macrozonas del Área Metropolitana de Caracas (Adaptado de FUNVISIS, 2009)

En la Figura 2 se definen aquellas situaciones donde deben considerarse la presencia de efectos topográficos, seleccionados con base en FUNVISIS (2009) y AFPS (1990). Se consideran efectos topográficos en las Tablas 1 y 2 cuando la construcción esté localizada sobre la mitad superior ($L/2$) de una ladera con pendiente mayor a 25 grados (aproximadamente 46%), o en la zona de la cima que está a una distancia de la cresta menor a la altura (h) de la ladera.

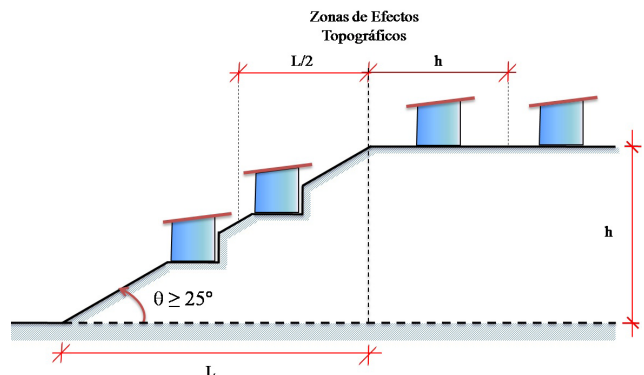


Figura 2. Zonas donde se consideran los efectos topográficos en el Índice de Amenaza I_A .

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El Índice de Vulnerabilidad tiene como intención identificar aquellas características intrínsecas en una estructura que pueden potenciar un desempeño inadecuado durante un sismo. Las definiciones que se presentan a continuación toman en consideración: 1) Las observaciones hechas en edificios que estuvieron sujetos a los sismos de 1967 en Caracas y de 1997 en Cariaco, los cuales destacaron, entre otros, los efectos desfavorables que introduce la ausencia de vigas en una dirección horizontal del edificio, la presencia de una planta baja débil por la terminación de las paredes de relleno de los pisos superiores, la presencia de columnas cortas que potencian modos frágiles de falla, la amplificación de la respuesta dinámica en edificios altos localizados sobre sedimentos profundos; 2) La mayor vulnerabilidad de las construcciones más antiguas, especialmente aquellas diseñadas con las normas anteriores a 1967; 3) La elevada vulnerabilidad de numerosas construcciones populares que han sido hechas sin seguimiento de normas técnicas de diseño y construcción.

La vulnerabilidad depende de la antigüedad de la obra, el tipo estructural, el número de pisos, la profundidad del depósito de suelo, el grado de deterioro, la topografía del sitio y algunas características básicas de la estructura y de las paredes de relleno que condicionan su desempeño sísmico. El Índice de Vulnerabilidad (I_v) se define mediante:

$$I_v = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot I_i \quad (2)$$

donde: I_i es el Índice de la Vulnerabilidad específica “i” y α_i es su peso relativo tal como se describe en la Tabla 3. Cada índice I_i tiene una cota superior de 100 por lo que el Índice de Vulnerabilidad (I_v) está también acotado a 100.

Tabla 3. Índices de Vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i)

I_i	Vulnerabilidad asociada con:	α_i
I_1	Antigüedad y norma utilizada	0,25
I_2	Tipo estructural	0,35
I_3	Irregularidad	0,25
I_4	Profundidad del depósito	0,07
I_5	Topografía y drenajes	0,04
I_6	Grado de deterioro	0,04

Índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad: I_1

El Índice de Vulnerabilidad I_1 atiende a la edad de la construcción y a la norma de diseño utilizada. En la

selección de estos valores se ha tomado en cuenta la mayor vulnerabilidad de las construcciones diseñadas con normas antiguas, las cuales poseen menor resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía que las diseñadas con las normas modernas (Hernández, 2009; Coronel & López, 2013). El valor de I_1 de la Tabla 4 tiene un máximo de 100 para aquellos edificios construidos antes de la aparición de la primera norma del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 1939). El valor de 90 en el período 1955-1967 toma en cuenta que la Norma (MOP, 1955) introdujo requerimientos sismorresistentes menos exigentes que las normas precedentes. El valor de I_1 para la norma de 1998 (COVENIN, 1998) es ligeramente menor a la de la norma 2001 (COVENIN, 2001), debido a una ligera disminución en los valores espectrales en esta última en relación con la primera. Si una edificación ha sido diseñada con diferentes normas, se recomienda seleccionar aquella que tenga el mayor índice.

En el caso de las viviendas populares, típicas de las zonas de barrios de la ciudad que han sido construidas sin cumplir con las normas oficiales de diseño y construcción, se recomienda conservadoramente adoptar para ellas un valor $I_1 = 100$.

Índice de vulnerabilidad del tipo estructural: I_2

En la Tabla 5 se definen quince (15) tipos estructurales de uso común en el país y se le asigna a cada uno un valor I_2 de vulnerabilidad intrínseca. En caso de que una edificación posea más de un tipo estructural, se recomienda asignarle el índice del tipo predominante o en todo caso asignarle el mayor valor de I_2 .

Los valores asignados en la Tabla 5 tienen un cierto grado de subjetividad y son susceptibles a ser revisados y adecuados. Uno de los criterios seguidos para la asignación de los índices, fue el penalizar con mayor vulnerabilidad los sistemas con poca capacidad de disipación de energía y premiar los sistemas dúctiles y/o de elevada rigidez y resistencia.

El tipo más utilizado en el país es el Tipo 2 en donde las paredes de bloques se encuentran adosadas a los pórticos de concreto armado, restringiendo el comportamiento dúctil de ellos y potenciando modos de falla frágil que aumentan su vulnerabilidad. En el Tipo 1, poco común en el país, las paredes están separadas de los pórticos y arriostradas apropiadamente para asegurar su estabilidad dentro y fuera de su plano, dando lugar a una disminución de la vulnerabilidad.

Tabla 4. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la antigüedad (I_1)

Año de Construcción (t)	$t \leq 1939$	$1939 < t \leq 1947$	$1947 < t \leq 1955$	$1955 < t \leq 1967$	$1967 < t \leq 1982$	$1982 < t \leq 1998$	$1998 < t \leq 2001$	$t > 2001$
I_1	100	80	80	90	60	30	10	15

Tabla 5. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con el Tipo estructural (I_2)

Tipo Estructural	Descripción	I_2
1	Pórticos de concreto armado ^(a)	25
2	Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	40
3	Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	10
4	Muros de concreto armado de poco espesor dispuestos en una sola dirección, como algunos sistemas constructivos del tipo túnel	90
5	Pórticos de acero	40
6	Pórticos de acero con perfiles tubulares	60
7	Pórticos de acero diagonalizados	20
8	Pórticos de acero con cerchas	40
9	Sistemas pre-fabricados en base de grandes paneles o de pórticos	90
10	Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada	70
11	Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada ^(b)	100
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos ^(b)	90
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos ^(b)	95
14	Viviendas de bahareque de un piso	90
15	Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, entre otros)	100

^(a)En esta estructura las paredes no interfieren con el desplazamiento lateral del pórtico y tienen estabilidad propia para movimientos en su plano y fuera de su plano.

^(b)Son aquellas construcciones típicas de los barrios que han sido construidas sin diseño de ingeniería formal y sin seguimiento de normas técnicas.

Índice de Vulnerabilidad para las irregularidades: I_3

Este índice tiene como finalidad modificar la vulnerabilidad intrínseca de una edificación, aumentándola en aquellas que poseen irregularidades geométricas o deficiencias estructurales significativas que condicionan su desempeño sísmico. En la Tabla 6 se definen once (11) irregularidades que son ampliamente reconocidas a nivel internacional como potenciadoras de respuestas sísmicas desfavorables (Naeim, 2001; Pauley & Priestley, 1992; Dowrick, 1977; Arnold & Reitherman, 1982). Por otro lado, en el ámbito nacional, la presencia de columnas cortas se asocia con el desempeño inadecuado y con el derrumbe de escuelas durante el sismo de Cariaco de 1997 (IMME 1998; Castilla & Marinilli, 2000; López *et al.* 2007; IMME-FUNVISIS-FEDE, 2011). Asimismo, la ausencia de vigas altas en una dirección así como la generación de una planta baja débil inducida por la terminación de las paredes de

mampostería de los niveles superiores, han sido señaladas como elementos que influenciaron en forma significativa el derrumbe de cuatro edificios altos durante el sismo de Caracas de 1967 (Grases, 1968; Comisión Presidencial, 1969; Urich & López, 2006).

El índice de vulnerabilidad asociado con la irregularidad I_3 se define por:

$$I_3 = \sum_{j=1}^{11} I_{3j} \leq 100 \quad (3)$$

donde: I_{3j} es el Índice de Irregularidad asociado con la irregularidad j que se define en la Tabla 6. Si la edificación no presenta ninguna de las irregularidades indicadas en dicha tabla, se le asigna $I_3 = 0$. Si la edificación es una vivienda popular y presenta dos o más pisos del tipo de mampostería no confinada (tipo estructural 11) se le asigna

un valor $I_3 = 100$ aun cuando no evidencie irregularidades del tipo mostradas en la Tabla 6. El valor de I_3 está acotado a un máximo de 100.

En el tipo estructural 4, que son sistemas tipo túnel de muros de concreto armado de poco espesor dispuestos en una sola dirección, se le debe asignar la irregularidad definida por la ausencia de vigas altas ($j=1$ en la Tabla 6) que caracteriza estas edificaciones. En la irregularidad $j=9$ se considera

que una edificación está adosada a otra adyacente cuando la separación entre ellas es menor al valor S indicado en la Tabla 7. Si ese es el caso, se deberá seleccionar una de las dos situaciones posibles denominadas (a) y (b), las cuales corresponden al caso de que las losas estén a la misma altura (contacto losa-losa) o al caso de que estén a diferentes alturas (contacto losa-columna), respectivamente. En el caso de que existiese adosamiento en más de una fachada del edificio, se selecciona el caso más desfavorable.

Tabla 6. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con irregularidades (I_{3j})

j	Descripción de la irregularidad	I_{3j}	
1	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	40	
2	Ausencia de muros en una dirección como ocurre en algunos sistemas tipo túnel	80	
3	Edificios de carácter frágil sin capacidad para disipar energía, como las edificaciones de adobe o de paredes de bloques que no poseen refuerzo metálico interior ni elementos de confinamiento (columnas, vigas de corona)	100	
4	Presencia de al menos un entrepiso blando o débil	50	
5	Presencia de columnas cortas	30	
6	Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	30	
7	Aberturas significativas en losas	10	
8	Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta o esquemas de elevación tipo $L^{(1)}$	20	
9	Adosamiento a edificio adyacente:	(a) Losa contra losa	10
		(b) Losa contra columna	20
10	Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal	10	
11	Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical	10	

⁽¹⁾ Entran dentro de esta irregularidad las construcciones en pendiente con semisótanos, en donde una losa está confinada por el terreno por un lado pero libre por otro lado.

Tabla 7. Separación entre edificaciones

Número de pisos	Separación con la edificación vecina S (cm)
1-2	14
3-5	30
6-10	70
11-15	100
>15	140

Índice de Vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito: I_4

El índice I_4 permite tomar en cuenta el aumento en la vulnerabilidad de una edificación alta que esté fundada sobre sedimentos de gran profundidad, tal como quedó evidenciado en el terremoto de Caracas de 1967 (Comisión Presidencial, 1969; Seed *et al.* 1972). Las situaciones de aplicación del índice I_4 se presentan en la Tabla 8 y han sido

definidas tomando en consideración resultados del estudio de microzonificación sísmica de Caracas (FUNVISIS, 2009; Hernández *et al.* 2009).

En el caso del Área Metropolitana de Caracas, los sitios con sedimentos de profundidad mayor a 120 metros se encuentran localizados en las zonas de Altamira-Los Palos Grandes y San Bernardino, Microzonas 5 y 6 dentro de la Macrozona Centro Norte (Figura 1). Para determinar la Microzona en la cual se encuentra una edificación en Caracas, véase FUNVISIS(2009) y FUNVISIS(2013).

Índice de Vulnerabilidad asociado con la topografía y drenajes: I_5

El índice I_5 atiende a identificar situaciones de vulnerabilidad asociadas con construcciones hechas en laderas o cerca de éstas, debido a una potencial falla de estabilidad en taludes no protegidos por obras de contención. En la Tabla 9 se presentan los valores de I_5 cuya selección depende de los

valores del ángulo de inclinación θ de la ladera, de la altura H de la ladera y de la distancia D que se definen en la Figura 3. El máximo valor del índice I_5 es 100. Se reconoce igualmente en la Tabla 9 el aumento en la vulnerabilidad cuando la edificación está localizada en una zona sin drenajes de aguas.

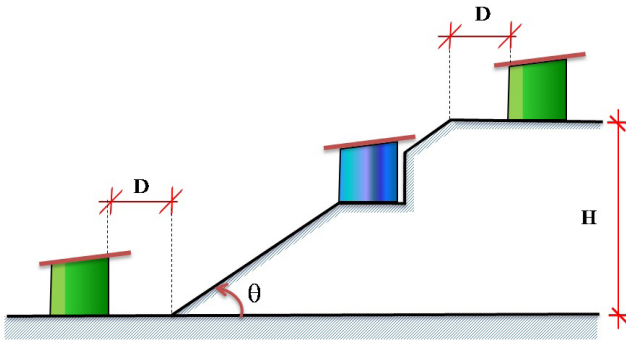


Figura 3. Construcciones en las cuales se considera vulnerabilidad asociada con la topografía (I_5)

Índice de Vulnerabilidad asociado con el grado de deterioro: I_6

En la Tabla 10 se muestran los valores de I_6 asignados a diferentes grados de deterioro del edificio, penalizando con los mayores valores a la existencia de corrosión del acero y al agrietamiento estructural. A efectos de calificar el grado de deterioro de la estructura, se seleccionará un único valor entre las opciones (a) y (b). En el caso de una edificación mixta que tuviese estructuras de concreto y de acero, se seleccionará el mayor valor entre las opciones (a) y (b). El máximo valor posible para I_6 es 100.

ÍNDICE DE IMPORTANCIA

El Índice de Importancia (I_1) tiene como finalidad incorporar dentro del proceso de priorización el uso de la construcción y el número de personas expuestas durante un terremoto. Se asignan índices mayores a aquellas

Tabla 8. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito (I_4)

Situaciones de aplicación	I_4
Edificios con un número de pisos mayor que 6 y localizados en depósitos de sedimentos de profundidad mayor a 120 metros	100
Otros casos	0

Tabla 9. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la topografía y a los drenajes (I_5)

		Características	I_5
Localización de la construcción	Construcción sobre planicie		0
	Construcción sobre ladera con pendiente de ángulo θ dada por:	Entre 20° y 45°	50
		$\geq 45^\circ$	80
	Construcción sobre la cima o en la base de la ladera de pendiente $\theta \geq 20^\circ$, a una distancia D :	Menor o igual a H	80
Mayor a H		0	
Existencia de drenajes		Si	0
		No	20

Tabla 10. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado al grado de deterioro (I_6)

Componente	Grado de deterioro	I_6	
Estructura	(a) Estructura de concreto: Agrietamiento en elementos estructurales de concreto armado y/o corrosión en acero de refuerzo	Severo	70
		Moderado	35
		Ninguno	0
	(b) Estructura de acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo de elementos	Severo	70
		Moderado	35
		Ninguno	0
Paredes	Arietamiento en paredes de relleno	Severo	20
		Moderado	10
		Ninguno	0
Todos	Estado general de mantenimiento	Bajo	10
		Regular	5
		Buena	0

construcciones esenciales, las cuales deben mantener su nivel de operación durante la ocurrencia de un sismo, como pueden ser los hospitales y centros de salud, las escuelas que sirven de refugio temporal y otras. Por otro lado, se diferencia también entre edificaciones que aun teniendo el mismo uso y la misma vulnerabilidad estructural, pueden dar lugar a pérdidas distintas si difieren significativamente

en el número de personas que las ocupan.

Las construcciones se clasifican según su uso en alguno de los tres grupos definidos en la Tabla 11. Los valores de Índice de Importancia se muestran en la Tabla 12 en función del uso del edificio y del número (N) de personas expuestas u ocupantes de la edificación que va a ser evaluada.

Tabla 11. Clasificación según el uso del edificio

Grupo	Uso del edificio
A1	Hospitales y centros de salud, estaciones de bomberos y de protección civil
A2	Cuarteles de policía, edificios de asiento del gobierno local, regional o nacional, edificios educacionales, construcciones patrimoniales de valor excepcional, centrales eléctricas, subestaciones de alto voltaje y de telecomunicaciones, plantas de bombeo, depósitos de materias tóxicas o explosivas y centros que utilicen materiales radioactivos, torres de control, centros de tráfico aéreo
A3	Todas aquellas edificaciones no contenidas en los grupos A1 y A2, tales como viviendas, edificios de apartamentos, de oficinas, comerciales, hoteles, bancos, restaurantes, cines, teatros, almacenes y depósitos

Tabla 12. Valores del Índice de Importancia (I_I)

Grupo	$N \leq 10$	$10 < N \leq 100$	$100 < N \leq 500$	$500 < N \leq 1000$	$N > 1000$
A1	0,90	0,92	0,95	0,97	1
A2	0,85	0,87	0,90	0,93	0,95
A3	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90

VALORACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD

En la Tabla 13 se presentan 21 edificaciones ordenadas de acuerdo con valores crecientes de vulnerabilidad. Las características del edificio y su año de construcción, se indican en la columna titulada Descripción. Se muestran

los valores de los seis índices de vulnerabilidad (I_1 a I_6) para cada edificio, obtenidos de las Tablas 4 a 10. La última columna muestra el Índice de Vulnerabilidad (I_V) obtenido de aplicar la Ecuación 2. Todos los edificios están en terreno firme y plano, exceptuando el N° 19 que está sobre sedimentos de profundidad mayor a 120 metros y el N° 21 que está sobre una ladera de pendiente pronunciada.

Tabla 13. Edificaciones ordenadas de acuerdo con su Índice de Vulnerabilidad (I_V)

N°	Descripción	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_V
1	Edificio de 10 pisos, 2004, Tipo Estructural 3. Sin irregularidades. Buen mantenimiento.	15	10	0	0	0	0	7,25
2	Edificio de 10 pisos, 2005, Tipo Estructural 1, paredes separadas del pórtico. Sin irregularidades. Mantenimiento bueno.	15	25	0	0	0	0	12,5
3	Vivienda de 2 pisos, 2010, Tipo Estructural 1, paredes separadas del pórtico, sin irregularidades. Buen mantenimiento.	15	25	0	0	0	0	12,5
4	Edificio de 6 pisos, 1990, Tipo Estructural 7, sin irregularidades. Mantenimiento regular.	30	20	0	0	0	5	14,7
5	Edificio de 6 pisos, 1990, Tipo Estructural 5. Sin irregularidades. Mantenimiento regular.	30	40	0	0	0	5	21,7
6	Edificio, 10 pisos, 2004, Tipo Estructural 2. Columnas cortas. Mantenimiento bueno.	15	40	30	0	0	0	25,2 ⁵

Nº	Descripción	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I _v
7	Edificio de 6 pisos, 1990, con Tipo Estructural 6, sin irregularidades. Mantenimiento regular.	30	60	0	0	0	5	28,7
8	Edificio, 10 pisos, 1983, Tipo Estructural 2. Hay columnas cortas. Mantenimiento regular.	30	40	30	0	0	5	29,2
9	Edificio de 10 pisos, 1968, Tipo Estructural 2. Hay columnas cortas. Mantenimiento bajo.	60	40	30	0	0	10	36,9
10	Vivienda de 2 pisos, 1940, Tipo Estructural 2. Columnas cortas. Mantenimiento regular.	80	40	30	0	0	5	41,7
11	Vivienda de 2 pisos, 1956, Tipo Estructural 2. Columnas cortas. Mantenimiento regular.	90	40	30	0	0	5	44,2
12	Edificio de 10 pisos, 1956, Tipo Estructural 2. Columnas cortas. Deterioro moderado y mantenimiento bajo.	90	40	30	0	0	45	45,8
13	Edificio de 10 pisos, 1983, Tipo Estructural 2. Columnas cortas, piso blando y asimetría de rigideces. Mantenimiento regular.	30	40	100	0	0	5	46,7
14	Liceo de 3 pisos, 1970, Tipo Estructural 2 con planta baja libre, columnas cortas, asimetría de rigideces, adosamiento a otro edificio. Mantenimiento regular.	60	40	100	0	0	5	54,2
15	Escuela, 2 pisos, 1956, Tipo Estructural 2, sin vigas en una dirección, columnas cortas, asimetría de rigideces y adosamiento a otro edificio. Mantenimiento regular.	90	40	100	0	0	5	61,7
16	Edificio de 11 pisos, 1960, Tipo Estructural 2, sin vigas en una dirección, planta baja libre, columnas cortas. Mantenimiento regular.	90	40	100	0	0	5	61,7
17	Edificio de 6 pisos, 2012, con muros de bloques de concreto sin refuerzo interior y sin columnas ni vigas. Mantenimiento bueno.	15	100	100	0	0	0	63,75
18	Edificio de 4 pisos, 1985, muros de concreto armado de 14 cm de espesor en una sola dirección, sin vigas. Mantenimiento regular.	30	90	100	0	0	5	64,2
19	Edificio de 11 pisos, 1960, Tipo Estructural 2, sin vigas en una dirección, con planta baja libre, columnas cortas, sobre sedimentos de 120 m de espesor. Mantenimiento regular.	90	40	100	100	0	5	68,7
20	Vivienda popular de dos pisos sobre terreno plano, Tipo Estructural 12, columnas cortas, planta baja libre y sin vigas en una dirección. Mantenimiento bajo.	100	90	100	0	0	10	81,9
21	Vivienda popular de dos pisos sobre una ladera de pendiente de 45°, Tipo Estructural 12, columnas cortas, planta baja libre y sin vigas en una dirección. Mantenimiento bajo.	100	90	100	0	80	10	85,1

Los primeros edificios son construcciones modernas sin irregularidades estructurales y con buen mantenimiento (Nº 1 a 3). Los edificios del Nº 4 al 7 son estructuras

regulares de mayor antigüedad. Los numerados 8 al 13 son edificios de variada antigüedad con algunas irregularidades estructurales.

Los edificios del N° 14 al 21 corresponden a ocho edificaciones de gran vulnerabilidad que se suelen encontrar en diversos lugares de país: las edificaciones N° 14 y 15 tienen características iguales a las escuelas que se derrumbaron durante el sismo (M=6,9) de Cariaco de 1997 (Figura 4). El edificio N° 19 es similar a los edificios que se derrumbaron en la zona de gran espesor de sedimentos de Altamira-Los Palos Grandes durante el sismo (M=6,4) de Caracas de 1967 (Figura 5). El edificio N° 16 es el mismo edificio N° 19 pero localizado sobre roca. El edificio N° 17 es un edificio frágil que no posee elementos de acero ni de concreto armado, sin capacidad de disipación de energía (Figura 6); estos edificios están prohibidos en las normas sísmicas de Costa Rica, Colombia y California.

El edificio N° 18 corresponde a los edificios del tipo constructivo túnel que abundan en el país y que no tienen estructura sismorresistente en una dirección horizontal (Figura 7). El edificio N° 20 (Figura 8) corresponde a una vivienda popular típica de los barrios en Caracas localizada sobre terreno plano; su tipo estructural es un sistema mixto de pórticos y mampostería de baja calidad de construcción. El edificio N° 21 es la misma vivienda N° 20 pero sobre una ladera de pendiente pronunciada (Figura 8). Los valores del Índice de Vulnerabilidad (I_v) varían entre un mínimo de 7,25 para el edificio moderno y estructuralmente regular (N° 1) y un máximo de 85,1 para la vivienda popular con irregularidades estructurales y en pendiente (N° 21).

En la Tabla 14 se definen seis rangos del Índice de

Vulnerabilidad y se califican los mismos desde una Muy Baja a una Muy Elevada vulnerabilidad. Se puede apreciar que los edificios del N° 15 al 21 definidos en la Tabla 13 quedan dentro del rango de Muy Elevada vulnerabilidad, mientras que los numerados del 10 al 14 quedan en el rango de Elevada vulnerabilidad. Por otro lado, debe tenerse presente que otros edificios distintos a los descritos en la Tabla 13 pudiesen alcanzar el rango de Elevada o Muy Elevada vulnerabilidad, para una determinada combinación de valores de los seis índices de vulnerabilidad (I_1 a I_6) descritos por la Ecuación 2.

En la Figura 9 se grafican los valores del Índice de Vulnerabilidad para los 21 edificios de la Tabla 13. Se indica allí el rango correspondiente a los edificios derrumbados en los sismos de Caracas de 1967 y Cariaco de 1997, así como las zonas asociadas con cada rango de vulnerabilidad definido en la Tabla 14.

Tabla 14. Valoración del Índice de Vulnerabilidad (I_v)

Calificación de la Vulnerabilidad	I_v Rango de Valores
Muy Elevada	$60 \leq I_v \leq 100$
Elevada	$40 \leq I_v < 60$
Media Alta	$30 \leq I_v < 40$
Media Baja	$20 \leq I_v < 30$
Baja	$10 \leq I_v < 20$
Muy Baja	$0 \leq I_v < 10$

a) Edificio N° 14, similar al Liceo R. Martínez Centeno



b) Edificio N° 15, similar a la Escuela Valentín Valiente



Figura 4. Edificios escolares similares a los derrumbados en el sismo de Cariaco de 1997

a) Edificio Mijagual



b) Imagen ilustrando ausencia de vigas en una dirección

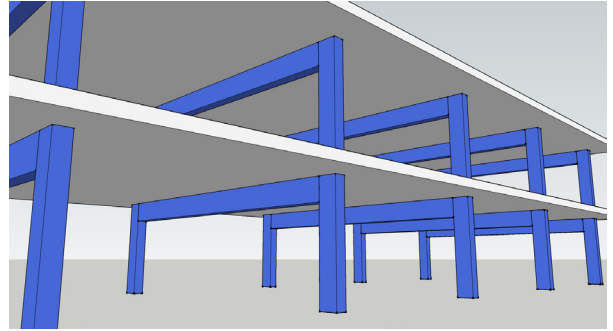
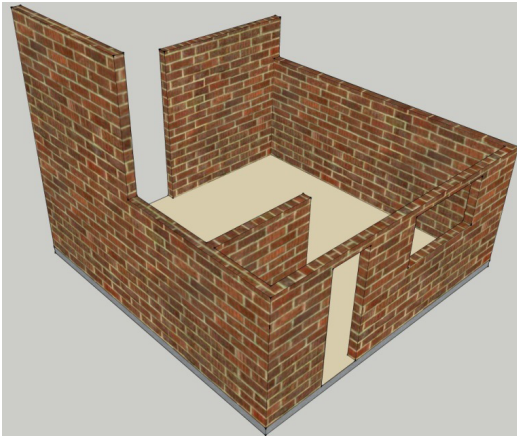


Figura 5. Edificio derrumbado durante el sismo de Caracas de 1967, similar a los Edificios N° 16 y 19

a) Imagen mostrando paredes sin columnas ni vigas de confinamiento

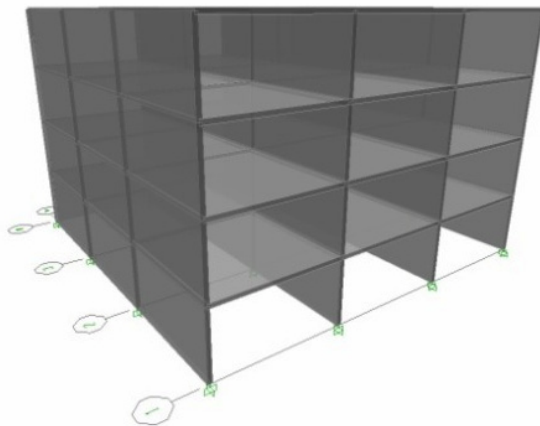


b) Edificio en construcción



Figura 6. Edificio N° 17. Es un edificio frágil, constituido por paredes de bloques sin refuerzo metálico interior y sin la presencia de vigas y columnas

a) Imagen de edificio con muros en una sola dirección



b) Edificio construido con muros de 12 cm de espesor en una sola dirección



Figura 7. Edificio N° 18: Posee muros de concreto armado de poco espesor en una sola dirección

a) Edificio N° 20



b) Edificio N° 21



Figura 8. Viviendas populares

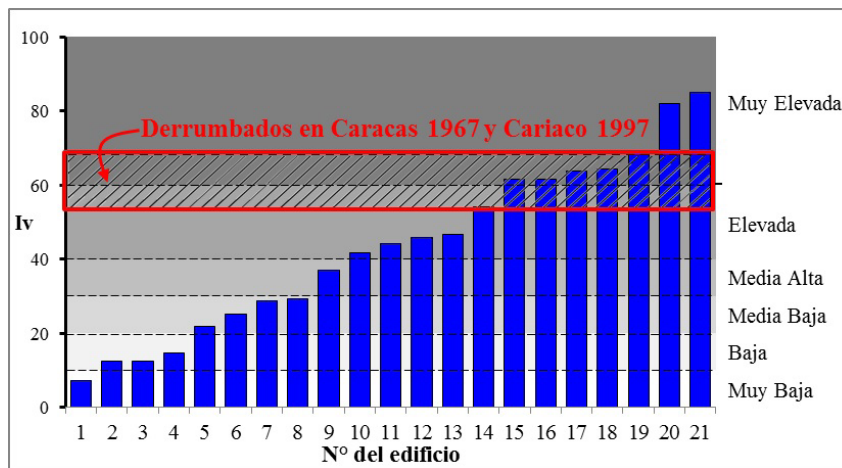


Figura 9. Rango de valores del Índice de Vulnerabilidad (I_v) para una muestra de 21 edificios y para los edificios derrumbados en los sismos de 1967 y 1997

VALORACIÓN DE LOS ÍNDICES DE RIESGO

El Índice de Riesgo (I_R) de la edificación se obtiene del producto de los índices de amenaza y vulnerabilidad (I_A·I_V). En la Tabla 15 se definen siete rangos del índice de riesgo y se califican los mismos desde un Muy Bajo a un Muy Elevado riesgo. Estos índices se determinaron combinando los valores límites de los rangos de vulnerabilidad (Tabla 14) con los valores límites de las zonas de peligro sísmico (Tabla 1), y fueron posteriormente redondeados.

Tabla 15. Valoración del Índice de Riesgo (I_R)

Calificación del riesgo	I _R Rango de valores
Muy Elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Alto	$25 \leq I_R < 40$
Medio Alto	$15 \leq I_R < 25$
Medio Bajo	$8 \leq I_R < 15$
Bajo	$3 \leq I_R < 8$
Muy Bajo	$0 \leq I_R < 3$

VALORACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PRIORIZACIÓN

El Índice de Priorización (I_p) depende de la amenaza sísmica presente en el sitio, de la vulnerabilidad de la edificación y del uso y número de personas que la ocupan; se obtiene de multiplicar los índices de amenaza, vulnerabilidad e importancia (Ecuación 1).

El efecto de la amenaza sísmica sobre el Índice de Priorización (I_p) se ilustra en la Figura 10 en la cual se muestra el caso de un edificio de vulnerabilidad Elevada (I_V=50) localizado en cada una de las siete zonas sísmicas del país. El Índice de Amenaza para cada zona se obtiene de la Tabla 1 sin considerar efectos topográficos. El edificio de uso vivienda de 20 pisos tiene un número de ocupantes de 600 personas por lo que le corresponde un índice de importancia I_I=0,87 (Tablas 11 y 12). Se observa en la Figura 10 que los valores del Índice de Priorización (I_p) varían entre un mínimo de 10 y un máximo de 39 cuando el edificio se localiza en la zona de menor y en la de mayor

amenaza, respectivamente. Si se considerasen efectos topográficos (Tabla 1), la amenaza aumenta y los valores se incrementarían hasta 11 y 44, respectivamente.

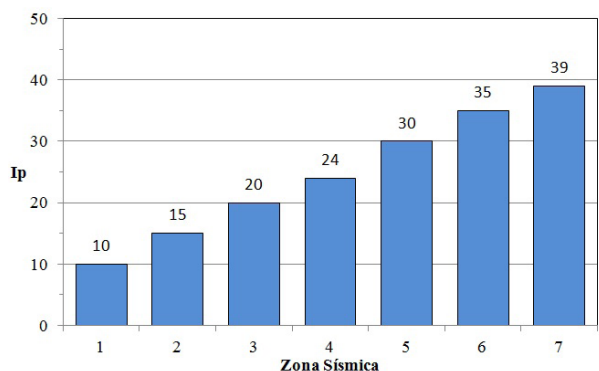


Figura 10. Efecto de la amenaza sísmica sobre el Índice de Priorización (I_p) para un edificio de vivienda de 20 pisos y 600 personas ($I_1=0,87$), con vulnerabilidad elevada ($I_v=50$), localizado en cada una de las siete zonas sísmicas del país

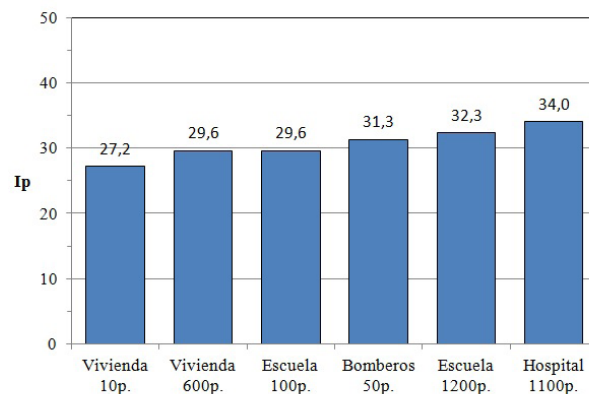


Figura 11. Efecto del uso y del número de ocupantes en el Índice de Priorización en edificaciones de igual vulnerabilidad ($I_v=50$) y localización ($I_A=0,68$); p =personas.

El efecto del uso y del número de ocupantes sobre el Índice de Priorización se ilustra en la Figura 11. Son seis edificios con la misma vulnerabilidad y en la misma zona sísmica pero con diferentes usos y ocupación. Los datos y cálculos parciales en cada edificio se muestran en la

Tabla 16. La amenaza corresponde a la zona sísmica 5 sin considerar efectos topográficos (Tabla 1). Se destaca en la Figura 11 el incremento en el Índice de Priorización (I_p) para las edificaciones de carácter esencial y para aquellas con mayor número de ocupantes. Los valores que adopta

Tabla 16. Índices para varias edificaciones con diferentes usos y número de ocupantes

Edificación	Amenaza	Vulnerabilidad	Importancia			Priorización
	I_A	I_v	Grupo	N	I_1	I_p
Vivienda de 2 pisos	0,68	50	A3	10	0,80	27,2
Edificio de 20 pisos	0,68	50	A3	600	0,87	29,6
Escuela de baja ocupación	0,68	50	A2	100	0,87	29,6
Estación de bomberos	0,68	50	A1	50	0,92	31,3
Escuela de alta ocupación	0,68	50	A2	1200	0,95	32,3
Hospital de alta ocupación	0,68	50	A1	1100	1,00	34,0

el Índice de Priorización (I_p) para las edificaciones de gran vulnerabilidad numeradas 14 a 21 en la Tabla 13 e ilustradas en las Figuras 4 a 8, se muestran en la Tabla 17. Se ha supuesto que todas están localizadas en la Zona 5, definida como de elevado peligro sísmico y sin considerar efectos topográficos, por lo que les corresponde $I_A=0,68$ (Tabla 1). Se muestran en la Tabla 17 los valores correspondientes del Índice de Importancia de cada edificación y del Índice de Vulnerabilidad proveniente de la Tabla 13. Se aprecia

en la Tabla 17 que los valores del Índice de Priorización (I_p) varían entre 35,0 y 46,3 para estos edificios de elevada vulnerabilidad. Estos valores pueden ser contrastados con los correspondientes a los edificios modernos, sin irregularidades estructurales, con buen mantenimiento, numerados 1, 2 y 3 en la Tabla 13, que para la misma zona sísmica tendrían valores del Índice de Priorización de 4,2, 7,2 y 6,8, respectivamente, sensiblemente menores que los de los edificios de elevada vulnerabilidad.

Tabla 17. Valores del Índice de Priorización (I_p) para edificaciones de gran vulnerabilidad a sismos localizados en la Zona Sísmica 5

Nº	Edificación	I_A	I_V	I_L	I_P
14	Liceo de 3 pisos, 1970, pórticos de concreto armado con paredes, con planta baja libre, columnas cortas, asimetría de rigideces, adosamiento a otro edificio. Población escolar de 1200 alumnos.	0,68	54,2	0,95	35,0
15	Escuela, 2 pisos, 1956, pórticos de concreto armado con paredes, sin vigas en una dirección, columnas cortas, asimetría de rigideces y adosamiento a otro edificio. Población escolar de 500 alumnos.	0,68	61,7	0,93	39,0
16	Edificio de 12 pisos, 1950, pórticos de concreto armado con paredes, sin vigas en una dirección, con planta baja libre, columnas cortas, sobre roca. Ocupación de 250 personas	0,68	61,7	0,85	35,7
17	Edificio de 6 pisos, 2012, con paredes de bloques de concreto sin refuerzo interior y sin columnas ni vigas. Ocupación de 90 personas.	0,68	63,75	0,82	35,5
18	Edificio de 4 pisos, 1985, muros de concreto armado de 14 cm de espesor en una sola dirección, sin vigas. Ocupación de 90 personas.	0,68	64,2	0,82	35,8
19	Edificio de 12 pisos, 1950, pórticos de concreto armado con paredes, sin vigas en una dirección, planta baja libre, columnas cortas, sobre sedimentos de gran espesor. Ocupación de 250 personas.	0,68	68,7	0,85	39,7
20	Vivienda popular de dos pisos sobre terreno plano, Tipo Estructural 12, columnas cortas, planta baja libre y sin vigas en una dirección. Ocupación de 8 personas.	0,68	81,9	0,80	44,6
21	Vivienda popular de dos pisos sobre una ladera de pendiente de 45°, Tipo Estructural 12, columnas cortas, planta baja libre y sin vigas en una dirección. Ocupación de 8 personas.	0,68	85,1	0,80	46,3

En la Tabla 18 se definen doce categorías del Índice de Priorización que van desde P1 (Prioridad Máxima) hasta P12 (Prioridad Mínima). Los rangos de valores de estas categorías se obtuvieron a partir de los valores límites de las siete categorías del Índice de Riesgo (Tabla 15) y su combinación con los valores límites de las categorías del Índice de Amenaza (Tabla 1); los valores resultantes fueron redondeados. Esta categorización tiene como finalidad ordenar los resultados y permitir una mejor discriminación entre edificaciones a efectos de orientar la selección de las más prioritarias que pasarían a la siguiente fase de estudios detallados del riesgo sísmico.

Tabla 18. Valoración del Índice de Priorización (I_p)

Calificación de la Priorización	I_p Rango de Valores
P1 (Prioridad máxima)	$60 \leq I_p \leq 100$
P2	$50 \leq I_p < 60$
P3	$40 \leq I_p < 50$
P4	$30 \leq I_p < 40$
P5	$25 \leq I_p < 30$
P6	$20 \leq I_p < 25$
P7	$16 \leq I_p < 20$
P8	$12 \leq I_p < 16$
P9	$8 \leq I_p < 12$
P10	$5 \leq I_p < 8$
P11	$2 \leq I_p < 5$
P12 (Prioridad mínima)	$0 \leq I_p < 2$

APLICACIÓN A UNA MUESTRA DE EDIFICACIONES

Se describe a continuación la aplicación del procedimiento propuesto en una muestra de 154 edificaciones localizadas en el casco histórico de Caracas, en la parroquia Catedral del Municipio Libertador. Centrada la recopilación alrededor de la Plaza Bolívar, la muestra contiene edificaciones emblemáticas de la ciudad como son, la Casa Amarilla, La Catedral, la Casa Natal de Libertador y otras. El instrumento de recolección de datos diseñado con el propósito de obtener la información necesaria para el cálculo de los índices, se describe en López *et al.* 2014. Las inspecciones estuvieron a cargo de estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCV que hicieron el Servicio Comunitario durante el año 2011. La información recogida fue luego organizada y sintetizada por Rojas & Quintero (2011).

En la Figura 12 se puede observar la distribución espacial y porcentual de los edificios acorde con el año de construcción y su asociación con la norma de cada época. Dada las características del sector se puede observar que predominan las edificaciones antiguas: un 26,0% de los edificios de la muestra fueron construidos antes de la primera norma del MOP del año 1939, un 82,5% antes de 1967 e incluso un 92,9% antes de 1982, todos ellos con criterios de diseño sismorresistente bastante menos exigentes que los contenidos en las normas más recientes.

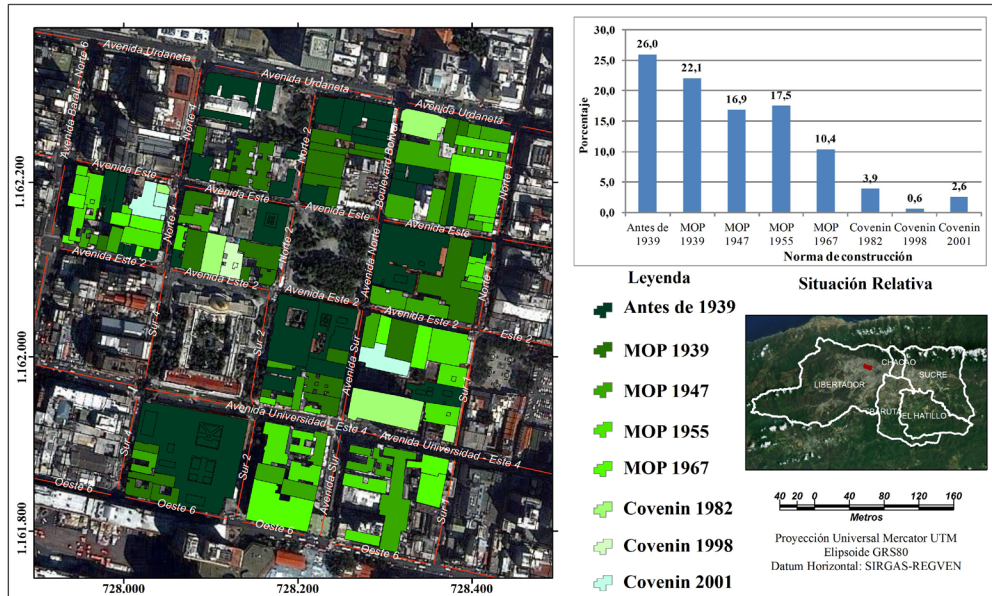


Figura 12. Distribución espacial y porcentual de los edificios según la norma de construcción

El Índice de Amenaza (I_A) para todas las edificaciones es de 0,64 por estar todas ellas localizadas en la Macrozona Centro Norte de Caracas (Tabla 2 y Figura 2). En la Figura 13 se presenta la distribución porcentual y espacial del Índice de Vulnerabilidad, notándose que un 57,1 % están en el rango de Elevada y un 31,2 de Muy Elevada vulnerabilidad. El Índice de Riesgo mostrado en la Figura 14 pone de manifiesto que un 23,4% están en la categoría de riesgo Elevado. Se debe mencionar que no hay edificaciones dentro de la categoría de riesgo Muy Elevado, ello es debido a que la zona sísmica considerada es la de Caracas sin efectos topográficos (Zona 5, Tabla 1); por ejemplo, si esas mismas edificaciones estuvieran en una zona de amenaza sísmica mayor como pudiese ser la

ciudad de Cumaná (Zona 7) y sobre una colina con efectos topográficos, el Índice de Riesgo aumentaría y quedarían catalogadas como de riesgo Muy Elevado.

La Figura 15 presenta la distribución espacial y porcentual del Índice Priorización. Puede notarse que no hay edificios en la máxima categoría P1 por el efecto ya citado de estar en la zona sísmica 5 que no es la zona de mayor amenaza y por estar además las construcciones sobre terreno plano sin efectos topográficos (Tabla 1). En la Tabla 19 se presentan los 17 edificios que tienen los mayores índices y caen dentro de los grupos P2 y P3. Se incluyen allí los valores del Índice de Vulnerabilidad (I_V), del Índice de Riesgo (I_R) y del Índice de Importancia (I_I) que definen el cálculo del

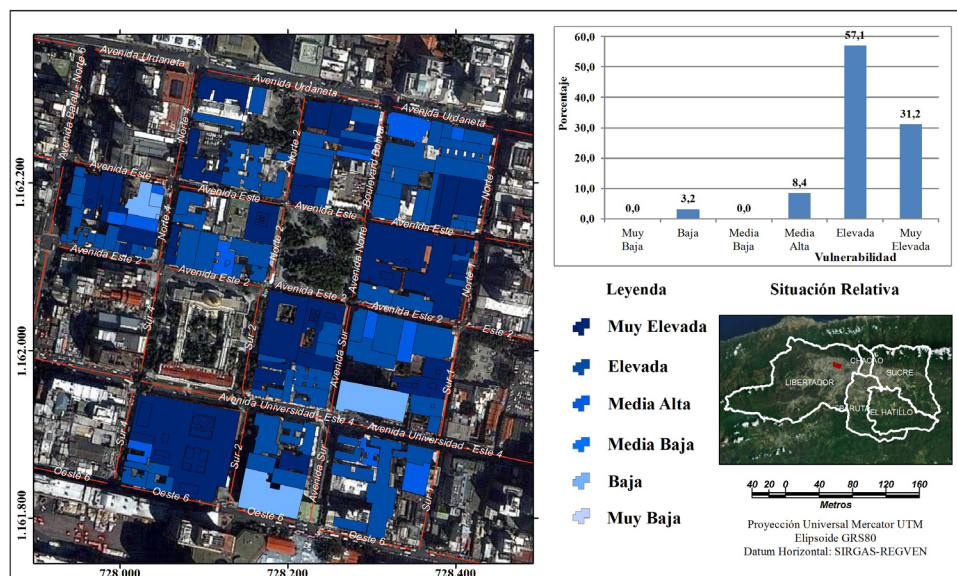


Figura 13. Distribución espacial y porcentual del Índice de Vulnerabilidad (I_V)

Índice de Priorización (I_p) según la Ecuación 1. Todas las edificaciones tienen una vulnerabilidad categorizada como Muy Elevada, entre 74,9 y 88,8, debido especialmente a su gran antigüedad (Tabla 4). La edificación que ocupa el primer lugar de priorización es un centro de salud (Edificio N° 11), seguida en los puestos segundo y tercero por dos edificaciones educacionales. El Índice de Priorización

(I_p) ha permitido ordenarlos para los efectos de pasar a la siguiente fase de estudios detallados que consistirían en una evaluación de la calidad de los materiales, elaboración de planos estructurales y arquitectónicos y desarrollo de modelos matemáticos para el análisis de su respuesta ante los sismos especificados en el sitio, para los fines de adecuación sísmica y de refuerzo estructural.

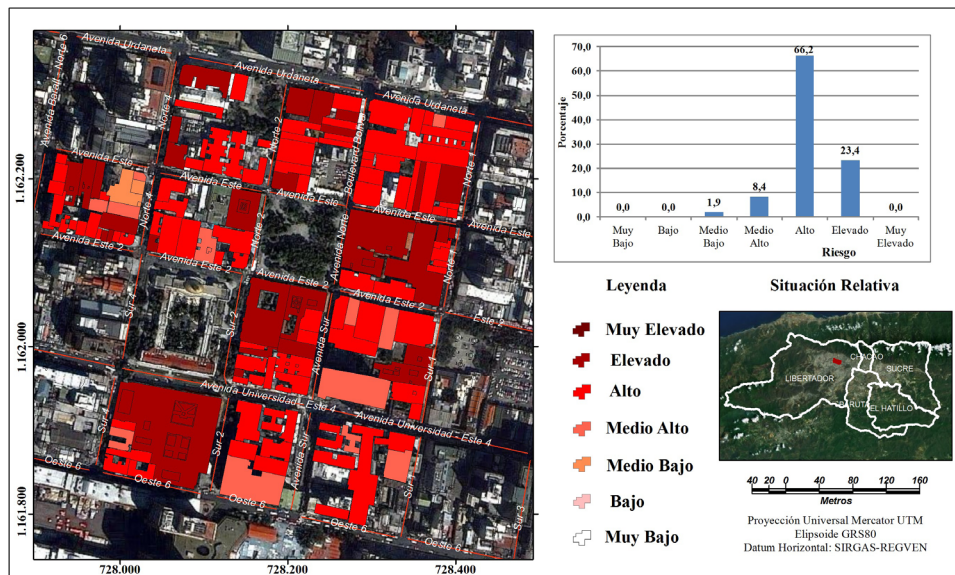


Figura 14. Distribución espacial y porcentual del Índice de Riesgo Sísmico (I_R)

Tabla 19. Edificios de la Parroquia Catedral con los mayores valores del Índice de Priorización (I_p)

#	Código Catastral	Nombre o número del edificio	I_v	I_R	I_l	I_p
1	04-01-12-03	Edificio N° 11	87,2	55,8	0,92	51,3
2	04-01-31-04	Palacio de las Academia	87,0	55,7	0,90	50,1
3	04-01-05-02	Escuela Nacional de Música José Ángel Lamas	84,5	54,1	0,87	47,0
4	04-01-05-01	Santa Capilla	88,8	56,8	0,82	46,6
5	04-01-15-01	Catedral de Caracas	85,4	54,7	0,85	46,5
6	04-01-13-03	Casa Amarilla	82,7	52,9	0,87	46,0
7	04-01-31-01	Antigua Corte Suprema de Justicia	87,6	56,1	0,82	46,0
8	04-01-05-11	Casa de Gobierno D. C.	82,5	52,8	0,87	45,9
9	04-01-12-04	Casa Comunal de Catedral	86,5	55,4	0,82	45,4
10	04-01-13-10	Edificio Capitolio	82,7	52,9	0,85	45,0
11	04-01-31-02	Iglesia de San Francisco	85,4	54,7	0,82	44,8
12	04-01-24-01	Casa del Vínculo	84,0	53,8	0,82	44,1
13	04-01-15-13	Museo Sacro	85,6	54,8	0,80	43,8
14	04-01-24-08	Casa Natal del Libertador	82,9	53,1	0,80	42,4
15	04-01-24-07	Museo Bolivariano	79,5	50,9	0,82	41,7
16	04-01-23-01	Consejo Municipal	74,9	47,9	0,87	41,7
17	04-01-15-03	Edificio N° 6	78,4	50,2	0,82	41,1

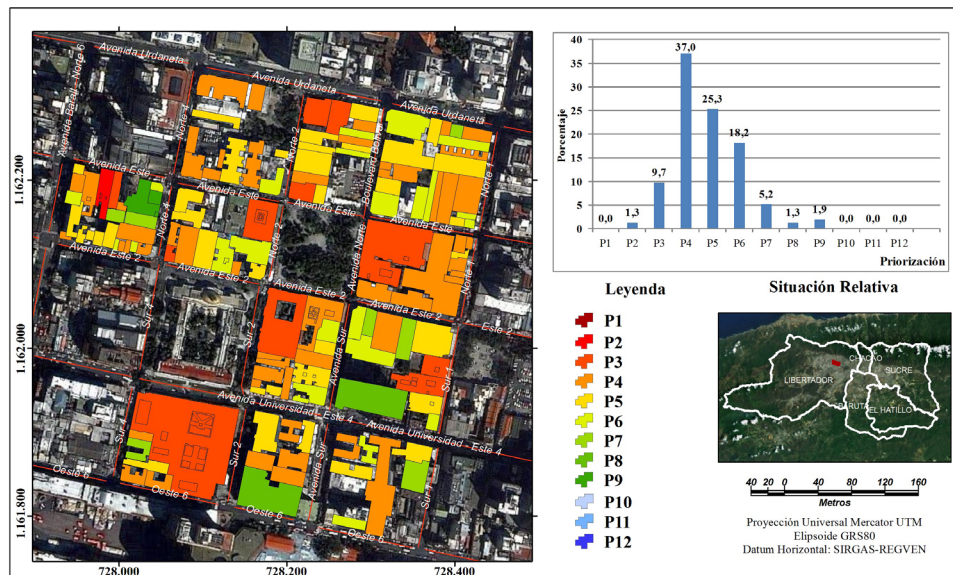


Figura 15. Distribución espacial y porcentual del Índice de Priorización (I_p)

CONCLUSIONES

Se desarrolló un procedimiento para asignar índices de amenaza, vulnerabilidad, riesgo, importancia y priorización sísmica de edificaciones existentes localizadas en cualquier lugar de Venezuela. La información necesaria es recopilada con base en inspecciones de corta duración. Debido a su sencillez y facilidad de aplicación, el método propuesto puede ser aplicado a un gran volumen de edificaciones, lo cual lo hace deseable en los programas de gestión integral hacia la reducción del riesgo sísmico en una ciudad o en un municipio del país.

El Índice de Priorización puede variar entre 1 y 100. Se determina multiplicando un Índice de Amenaza por un Índice de Vulnerabilidad y por un Índice de Importancia, el cual toma en consideración el número de ocupantes de la edificación. El Índice de Riesgo es el producto de los dos primeros índices. Edificaciones consideradas de muy elevada vulnerabilidad ya sea por su antigüedad, fragilidad, ausencia de planos resistentes, presencia de irregularidades o deterioro excesivo, tienen índices de vulnerabilidad entre 60 y 100.

El procedimiento incorpora los diferentes niveles de amenaza sísmica presentes en el territorio nacional y en la microzonificación de la ciudad de Caracas, y permite que se incluyan otros resultados de microzonificación de otras ciudades en la medida de que estos sean generados.

El procedimiento se ajustó y calibró con la información proveniente de edificaciones de reconocida elevada vulnerabilidad que existen en el país.

En relación con otras metodologías internacionales publicadas de inspección rápida y evaluación sísmica de edificios, el procedimiento propuesto tiene las siguientes ventajas: 1) Está adaptada a los sistemas constructivos del país; 2) Incorpora las experiencias de los sismos de Caracas de 1967 y Cariaco de 1997; 3) Incluye edificaciones populares construidas sin cumplimiento de normas técnicas; 4) Incluye efectos de topografía y los resultados de microzonificación.

El procedimiento propuesto se aplicó a una muestra de 154 edificios localizados en la Parroquia Catedral de la ciudad de Caracas. Se encontró que un 82,5% fueron construidos antes de 1967, un 31% poseen una vulnerabilidad Muy Elevada y un 23% poseen un riesgo sísmico Elevado. Las edificaciones se ordenaron según su Índice de Priorización, el cual permite seleccionar aquellas que deben pasar a la fase de estudios detallados para la toma de decisiones de adecuación sísmica y refuerzo estructural, bajo el marco de la prevención ante la futura ocurrencia de terremotos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los demás miembros del Grupo de Trabajo que participaron en la elaboración del Informe Técnico de FUNVISIS sobre los Índices de Priorización: Ascanio, William; González, Jorge; Olbrich, Florian; Páez, Valentina y Rengel, José Gregorio. Esta investigación ha estado financiada por el FONACIT, Proyecto N° 2011000716, Proyecto SismoCaracas desarrollado por FUNVISIS con el apoyo del IMME-FI-UCV. Pereira, Ricardo elaboró los mapas.

REFERENCIAS

- AFPS (1990). Recommendations of the French Association for Earthquake Engineering for the redaction of rules relative to structures and installations built in regions prone to earthquakes. Association Française du Génie Parasismique, Saint-Rémy-lès-Chevreuse, France.
- ARNOLD, C. & REITHERMAN, R. (1982). Building Configuration and Seismic Design. John Wiley & Sons.
- CASTILLA, E. & MARINILLI, A. (2000). Structural Behavior of Raimundo Martínez Centeno Highschool on 07/09/1.997. Cariaco Earthquake. XII WCEE, New Zealand.
- COMISIÓN PRESIDENCIAL PARA EL ESTUDIO DEL SISMO. (1969). The Caracas Earthquake of July 29, 1967. Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Chile, Vol. 3, J-2, p 74-89.
- CORONEL D.,G.&LÓPEZ, O. A. (2013). Metodología para la Estimación de Daños Por Sismos en Edificios Escolares de Venezuela Mediante Curvas de Fragilidad. Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV, Vol. 28, N° 2, 2013.
- COVENIN (1982). Edificaciones Antisísmicas. Norma COVENIN 1756:82. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.
- COVENIN (1998). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:98. Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN, FONDONORMA, MINDUR y FUNVISIS. Caracas, Venezuela.
- COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:2.001, Venezuela.
- DOWRICK, D. J. (1977). Earhquake Resistant Design. John Wiley & Sons.
- FEMA (2002). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Second Edition, FEMA 154/March 2002.
- FUNVISIS (2009). Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto. Proyecto FONACIT 200400738.
- FUNVISIS (2013).<http://www.funvisis.gob.ve>
- GRASES, J. (1968). El Sismo de Caracas de 1967. Estudios Orientados hacia su Interpretación a partir del Comportamiento de Estructuras. Boletín Técnico IMME, 6 (23-24), p 3-125.
- HASSAN, A. F. &SOZEN, M. A. (1997). Seismic Vulnerability Assesment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes. ACI Structural Journal, Technical Paper, Vol. 94, No 1, January-February 1997.
- HERNÁNDEZ, J. J. (2009). Confiabilidad Sísmica-Estructural de Edificaciones Existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de Septiembre, Caracas.
- HERNÁNDEZ, J. J., SCHMITZ, M., DELAUAUD, E., CDET, H., DOMÍNGUEZ, J. (2009). Espectros de Respuesta Sísmica en Microzonas de Caracas incluyendo Efectos de Sitio 1D, 2D y 3D. Revista de la Facultad de Ingeniería, June 2011, vol.26, no.2, p.49-66.
- IMME (1998). Evaluación Sismorresistente de las Edificaciones derrumbadas durante el Sismo de Cariaco del 09-07-1.997. Informe N° 209209. IMME, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.
- IMME-FUNVISIS-FEDE (2011). Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela, Informe Técnico Final. Proyecto FONACIT N° 2005000188
- JAIN, S. K., MITRA, K., KUMAR, M., SHAH, M. (2010).A Proposed Rapid Visual Screening Procedure for Seismic Evaluation of RC-Frame Buildings in India. Earthquake Spectra, Vol. 26, No 3, 709-729.
- MARINILLI, A., FERNÁNDEZ, N., LÓPEZ, O. A.,CORONEL, G. (2012).Inspection of School Buildings in Seismic Prone Areas in Venezuela. 15 World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, 24-28 de Septiembre 2012.
- MENESES, J. &ZENÓN, A. (2004). Seismic Vulnerability of School Buildings in Lima, Perú. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1683, Vancouver, B. C., Canada.
- 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, p771-790, November 2007.
- LÓPEZ, O. A. (2008). Protección de Escuelas contra los

- Terremotos. Trabajo de Incorporación a la Academia Nacional de Ingeniería y del Hábitat, Caracas, 2008.
- LÓPEZ, O. A., CORONEL, G., ASCANIO, W., ROJAS, R., PÁEZ, V., OLBRICH, F., RENGEL, J. G., GONZALEZ, J. (2014). Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. Informe Técnico FUNVISIS, FUN-002, 2014.
- 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.
- NAEIM, F. (2001). The Seismic Design Handbook. Chapter 6: Architectural Considerations. 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers.
- PAULAY, T. & PRIESTLEY M., J. N. (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley & Sons, Inc.
- SEED H., B., WHITMAN, V., DEZFULIAN, H., DOBRY, R., IDRIS, I. M. (1972) Relationship between Soil Conditions and Building Damage in the 1967 Caracas Earthquake. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, August 1972.
- URICH, A. J. & LÓPEZ, O. A. (2006). Importancia de la Orientación de los Planos Resistentes en el Desempeño Sísmico de Edificios en Los Palos Grandes, 1967. VII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Valencia, Venezuela, 17-19 de Mayo de 2006.
- ROJAS, J. & QUINTERO, N. (2011). Niveles de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Edificaciones de la Parroquia Catedral del Municipio Libertador de Caracas. Trabajo Especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil en la Universidad Central de Venezuela (Tutor: Prof. Gustavo Coronel D.)

