

TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA VIVIENDA POPULAR EN LA GRAN CARACAS

VALENTINA PÁEZ¹ Y OSCAR A. LÓPEZ²

¹ Departamento de Ingeniería Sísmica, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).
e-mail: valentinapaezhernandez@gmail.com

² Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Facultad de Ingeniería de la UCV, Asesor de FUNVISIS.
e-mail: oalsf@yahoo.com

Recibido: enero 2017

Aprobado para publicación: marzo 2017

RESUMEN

Este trabajo investiga las características de las estructuras de la vivienda popular venezolana y su vulnerabilidad ante la acción de los sismos. De la inspección de una muestra de 626 viviendas populares en quince barrios de Guarenas, Guatire y Caracas se infiere que el tipo estructural más común es el sistema mixto de pórticos de concreto armado y paredes de mampostería de baja calidad de construcción. En los barrios inspeccionados predominan las viviendas de uno y dos pisos. No se observaron viviendas mayores a seis pisos. De inspecciones detalladas hechas en varias viviendas se identificaron materiales y valores predominantes de altura de entrepiso, de secciones de vigas y columnas, y de distancias entre ejes de columnas. Los índices de vulnerabilidad sísmica corresponden con una vulnerabilidad elevada a muy elevada, valores del mismo orden o mayores que los de los edificios formales derrumbados en los sismos de Caracas de 1967 y Cariaco de 1997. Se presenta el análisis estático no lineal de una estructura que representa una vivienda típica, considerando distintas configuraciones de las paredes de mampostería y se determina la aceleración sísmica que induciría daño estructural completo para cada configuración.

Palabras clave: vivienda popular, sismos, vulnerabilidad, tipo estructural, Caracas

STRUCTURAL TYPOLOGY AND SEISMIC VULNERABILITY OF POPULAR HOUSING IN GRAN CARACAS

ABSTRACT

This work investigates the structural characteristics of Venezuelan popular housing and their vulnerability to the action of earthquakes. From the inspection of a sample of 626 popular homes belonging to 15 neighbourhoods in Guarenas, Guatire and Caracas, it is inferred that the most common structural type is a mixed system of reinforced concrete frames and masonry walls of low construction quality. The houses of one and two floors are predominant. No houses higher than 6 floors were observed. From detailed inspections made in several houses, materials and prevailing values of floor height, sections of reinforced concrete beams and columns and distances between axes of columns were identified. The seismic vulnerability indexes are high to very high, of the same order or greater than those corresponding to the formal buildings collapsed in the Caracas earthquakes of 1967 and Cariaco 1997. The nonlinear static analysis of a structure that represents a typical house is presented, considering different configurations of the masonry walls; the seismic acceleration that would induce complete structural damage for each configuration was determined.

Keywords: Popular housing, Earthquakes, Vulnerability, Structural type, Caracas

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

Un porcentaje elevado de la población venezolana habita en viviendas construidas sin el seguimiento y cumplimiento de las normas técnicas de construcción, que se encuentran localizadas en zonas de elevada amenaza sísmica. El último censo nacional indica que en Caracas aproximadamente

un 70 % de las viviendas son de carácter informal. El terremoto de Haití de 2010 ocasionó unas 250.000 víctimas fatales, la mayoría producto del derrumbe de viviendas populares, poniendo en evidencia la elevada vulnerabilidad de las construcciones hechas sin criterios sismorresistentes. Esta investigación tiene como objetivo identificar las características estructurales y la vulnerabilidad de la

vivienda popular en la Gran Caracas. Esta información es fundamental para una determinación posterior de los efectos esperados durante la ocurrencia de terremotos. En este trabajo entendemos por vivienda popular aquellas construcciones concebidas sin el cumplimiento estricto de las normas técnicas nacionales ni el seguimiento y supervisión por parte de un ingeniero ni de los organismos municipales encargados. También se les suele llamar vivienda informal.

ANTECEDENTES

Diversas publicaciones han tratado el tema de la vulnerabilidad estructural y sísmica de las viviendas populares en Venezuela, las cuales se describen a continuación discriminando entre trabajos de campo, ensayos experimentales y estudios teóricos de vulnerabilidad y riesgo.

Trabajos de campo

Palladino y Perna (1983), como parte del proyecto iniciado en el IMME-FI-UCV sobre las viviendas de mampostería (López y otros, 1986), recopilan algunas características estructurales de viviendas ubicadas en zonas sísmicas por medio de inspecciones en algunos barrios de Caracas. Rosas (1988) identifica las etapas constructivas de las viviendas en los barrios de Caracas. Se caracterizaron tres etapas constructivas, en la primera denominada “Ranchos” se implanta al terreno una vivienda precaria constituida por materiales de desecho. La segunda etapa, denominada “Mejora de vivienda”, consiste en la adecuación de la vivienda por medio del reemplazo de los materiales precarios por materiales de construcción, tales como bloques de arcilla, losa de tablonos y elementos confinantes de concreto armado. En la tercera etapa, denominada “Ampliación de vivienda”, la estructura crece en planta o elevación según el contexto donde se encuentra ubicada.

Bolívar, Guerrero, Rosas, Ontiveros y De Freitas (1994) describe las características estructurales de un conjunto de viviendas populares en el barrio Santa Cruz de las Adjuntas, Parroquia Macarao y en los barrios Carpintero y Valle Alto, Municipio Sucre. Se señala que el sistema predominante es de mampostería estructural confinada, trabada y en pocos casos reforzada, aun cuando también se observó de manera significativa la utilización del sistema apertado o esqueleto de concreto. Cano (2003) caracteriza los problemas estructurales típicos de las viviendas en el barrio de la Quebrada Anaucó en Caracas y presenta propuestas de reforzamiento de estas edificaciones. En Rosas, Marcano y Machado (2008) se caracterizaron las

tipologías constructivas de las viviendas de los barrios de Caracas, se describieron las técnicas y fases constructivas y los materiales de uso frecuente. Guerrero y Zeoli (2011) estudian las características estructurales de las viviendas populares en el Barrio Telares de Palo Grande en Caracas, determinan su vulnerabilidad a sismos y el riesgo, empleando una metodología simplificada, y establecen posibles escenarios sísmicos.

Pruebas de laboratorio

A partir de la década de 1980 se inició en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Facultad de Ingeniería de la UCV un programa de investigación de la vivienda popular de mampostería (López, Castilla, Genatios, Lafuente y Carvajal, 1986). Castilla (1998) estudió la resistencia a compresión y a corte de nueve muros de bloques de concreto de 15 cm de espesor, confinados por machones y vigas de corona, típicos de viviendas populares. Las pruebas en pilas y muretes indicaron una resistencia media a compresión de 78 kg/cm² y a corte de 7,6 kg/cm². Se propuso una expresión para calcular resistencia máxima a cortante del muro. Marinilli y Castilla (2007) determina las propiedades de cuatro muros de bloques de concreto de 15 cm de espesor, variando el número de paños (1 a 3) y el número de machones confinantes. De los ensayos de pilas y muretes se obtuvo una resistencia a compresión de 68 kg/cm² y una resistencia al corte de 5,11 kg/cm². Se propone una expresión para determinar la resistencia máxima a corte, la cual depende del número de machones presentes.

Las propiedades mecánicas de las paredes de mampostería confinada de bloques de arcilla se presentan en Castilla (1994) y Castilla, Lafuente y Genatios (1995). Se ensayaron diez muros de 15 cm de espesor, variando la esbeltez y la carga axial. La resistencia media a compresión de la mampostería fue de 17 kg/cm² y la del concreto armado de 210 kg/cm². Se proponen expresiones para determinar la deriva tolerable y la fuerza cortante máxima del muro. El estudio de muros de mampostería confinada de ladrillos de arcilla (piezas sin huecos) de 12 cm de espesor se presenta en (Lafuente y Genatios, 2000). La resistencia media a compresión de las pilas fue de 92,8 kg/cm² y a corte de los muretes fue de 6,6 kg/cm². Se propuso una expresión para determinar la máxima capacidad resistente del muro en función de su esbeltez y en función del nivel de carga axial. En el trabajo del IMME (2004) se determinó la resistencia en bloques, ladrillos, pilas y muros, tanto de arcilla como de concreto, considerando diversos espesores comerciales. En la Tabla 1 se presentan los valores medios y los coeficientes de variación de las resistencias obtenidas en pilas y muretes, referidos al área bruta de la pared.

Como parte del Proyecto JICA (2004) se construyeron cuatro viviendas populares en un barrio de Caracas, las cuales fueron ensayadas a carga lateral simulando la acción sísmica hasta alcanzar daño estructural considerable. Los

ensayos mostraron falla por corte en columnas cortas, por flexocompresión en columnas largas y falla local en las paredes en contacto con las columnas.

Tabla 1. Resistencia de muros de mampostería

Muros con bloques de:	Compresión (Pilas)		Cortante (muretes)	
	Media (Kgf/cm ²)	Coficiente de variación (%)	Media (Kgf/cm ²)	Coficiente de variación (%)
Arcilla, espesor 10 cm	14,1	19,3	2,2	2,8
Arcilla, espesor 15 cm	11,4	30,5	2,2	12,8
Tabelón, espesor 10 cm	20,5	6,2	7,8	11,9
Concreto, espesor 10 cm	58,5	8,6	8,1	13,4
Concreto, espesor 15 cm	54,2	14,5	7,0	18,9

Adaptado de IMME, 2004

Estudios de vulnerabilidad y riesgo

Mebarki y Valencia (2003) proponen una metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de construcciones informales en mampostería. La probabilidad de falla frente a un sismo no está basada sobre un análisis mecánico sofisticado, sino sobre una clasificación de la vulnerabilidad según diversos criterios mecánicos admitidos. El proyecto JICA (2004) evaluó el desempeño sísmico de edificaciones en el área metropolitana de Caracas, incluyendo viviendas populares. La simulación del sismo de Caracas de 1967 indica que un 3,9 % de las viviendas de barrio serían severamente dañadas. Castillo, López-Almasa y Pujades (2011) estudiaron el riesgo sísmico de un asentamiento informal urbano en la ciudad de Mérida mediante el método del Índice de Vulnerabilidad Italiano (IVIM). En un escenario sísmico de intensidad IX, más del 32 % de los edificios sufrirán daño extenso o mayor. Bendito, Rozelle y Bausch (2014) estimaron pérdidas probables para la ciudad de Mérida utilizando el modelo de HAZUS. El tipo de edificación de mampostería no reforzada, el cual corresponde al 70 % de las construcciones del Estado Mérida, es el que presenta mayores daños; el 15 % de estos edificios sufre daño completo para un sismo de 0,37 g con periodo de retorno de 475 años y magnitud 7,5.

Fuentes y Palacios (2014), como parte del Proyecto SismoCaracas de FUNVISIS, estudiaron una vivienda popular del barrio Telares de Palo Grande en Caracas y

cuantificaron la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de la misma. Páez (2016) estudia el desempeño sísmico de viviendas informales en Caracas y desarrolla curvas de fragilidad para tipologías estructurales típicas. En el ámbito internacional, en FEMA-NIBS (2009) se proponen curvas de fragilidad para edificaciones de mampostería sin reforzar y reforzada construidas en diferentes épocas en los Estados Unidos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS POPULARES

Metodología para la inspección rápida

Se aplicó el método de inspección rápida de edificaciones descrito en el trabajo de López, Coronel y Rojas (2014), particularizándolo para viviendas populares. La información que se resume en la Tabla 2 se recopiló en campo con una planilla, a partir de la cual se calcula el índice de vulnerabilidad (I_V) que se define por:

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

Donde I_i es el índice de la vulnerabilidad específica “i” y α_i es su peso relativo (Tabla 2). Cada índice I_i tiene una cota superior de 100, por lo que I_V está también acotado a 100.

Tabla 2. Índices de vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i)

I_i	Vulnerabilidad asociada a:	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 de suelo	0,07
I_5	Topografía y drenajes	0,04
I_6	Grado de deterioro	0,04

El índice I_1 atiende a la edad de la construcción y a la norma de diseño utilizada. Para viviendas construidas sin cumplimiento de normas de diseño, se adopta $I_1 = 100$. El índice I_2 atiende al tipo estructural. Aun cuando el método de inspección rápida define quince tipos estructurales posibles, solo se muestran en la Tabla 3 los siete tipos característicos en las zonas de viviendas populares.

El índice de irregularidad (I_3) aumenta la vulnerabilidad intrínseca de una edificación que posea irregularidades o deficiencias estructurales significativas. Si no posee irregularidades, $I_3 = 0$. Si hay dos o más entresijos del tipo estructural 11, $I_3 = 100$. I_3 está dado por la suma de los doce índices de la Tabla 4, acotado en 100.

Tabla 3. Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_2)

Tipo Estructural	Descripción	I_2
2	Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques	40
10	Elementos portantes son muros de mampostería confinada	70
11	Elementos portantes son muros de mampostería no confinada	100
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a dos pisos	90
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a dos pisos.	95
14	Viviendas de bahareque de un piso	90
15	Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	100

Tabla 4. Valores del índice de vulnerabilidad asociado a 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 entresijo 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.

El índice de profundidad del depósito (I_4) vale 100 si la vivienda tiene más de seis pisos y está sobre sedimentos de profundidad mayor a 120 metros, y vale 0 en los otros casos. El índice I_5 identifica situaciones de vulnerabilidad asociadas a construcciones hechas en laderas. En la Tabla 5 se presentan los valores de I_5 que dependen del ángulo de inclinación (θ) y de la altura (H) de la ladera y de la distancia D al borde de la misma. Se reconoce en la Tabla 5 el aumento en la vulnerabilidad cuando no hay drenaje de aguas. El índice I_6 cuantifica el grado de deterioro de la vivienda. Vale 70 o 35 cuando hay agrietamiento en elementos de concreto

armado y 20 o 10 para grietas en paredes de relleno, de carácter severo o moderado, respectivamente. El estado de mantenimiento se califica como bajo, regular o bueno, con índices de 10, 5 y 0, respectivamente.

El índice de vulnerabilidad I_v dado por la ecuación 1 se califica como se muestra en la Tabla 6. Los cuatro edificios formales que se derrumbaron en Caracas en 1967 y las dos escuelas derrumbadas en Cariaco en 1997 tenían valores de I_v entre 54 y 69.

Tabla 5. Valores del índice de vulnerabilidad asociado a 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	Sí	0	
	No	20	

Tabla 6. Calificación de la vulnerabilidad.

Calificación de la Vulnerabilidad	I_v
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	$0 \leq I_v < 10$

Inspecciones realizadas

Se realizaron inspecciones en 626 viviendas de sectores populares de Guarenas-Guatire y la Gran Caracas durante

los años 2011 y 2012, que se describen en la Tabla 7. Las inspecciones contaron con el apoyo del grupo de ingenieros del Convenio Cuba-Venezuela y de estudiantes de las universidades UCV y Unefa.

Tabla 7. Cantidad de viviendas inspeccionadas por sector popular, en los años 2011 y 2012

Guarenas y Guatire		Caracas	
Barrio	N° de viviendas	Barrio	N° de viviendas
Brisas de Campo Alegre	1	Camboya	66
El Jabillo	58	Casco Histórico Central	2
Guacarapa	15	La Candelaria	1
La Guairita	59	La Silsa	89
Las Casitas	84	Los Pajaritos	34
Ochoa	14	Los Telares	63
Ruiz Pineda	8	Maripérez	3
Terrazas del Araguaey	8	Santa Rosa	77
Valle Verde	28	-	-
Zulia	6	-	-
Zumba	10	-	-
Total general	291	Total general	335

Viviendas inspeccionadas en Guarenas y Guatire

A continuación se resumen las principales características de las viviendas en los barrios inspeccionados, exceptuando Brisas de Campo Alegre cuya única vivienda es similar a las inspeccionadas en el barrio El Jabillo.

El Jabillo (municipio Zamora)

El barrio El Jabillo tiene una antigüedad aproximada de 35 años. Se encuentra en ladera de montaña con pendiente entre los 20° y 45°. Las viviendas son de baja altura, 40 son de un nivel, 16 de dos niveles y 2 son de tres niveles. El 72 % de las viviendas es del tipo estructural mixto (Tipos 12 y 13, Tabla 3). La mayoría de las viviendas (67 %) no cuenta con un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia, siendo las aguas descargas directamente al terreno. El esquema de planta (59 %) es regular al igual que el esquema de elevación, entre las irregularidades comunes encontramos la discontinuidad de ejes de columnas, la

ausencia de vigas en una dirección y adosamiento. Las Figuras 1a y 1b muestran viviendas típicas del sector.

Guacarapa (municipio Plaza)

El barrio Guacarapa se encuentra ubicado en ladera de montaña con una pendiente superior a los 20°. Es un sector que tiene aproximadamente 40 años. La mayoría (12) de las viviendas (15) son del tipo estructural mixto, de baja altura, sin embargo se observaron en menor proporción viviendas de tres y cuatro niveles. El sector se caracteriza por la presencia de sistemas formales de drenajes de aguas servidas y de lluvia, 12 de las 15 viviendas cuenta con un sistema formal de drenaje. El 43 % presenta un esquema de elevación irregular y a su vez ausencia de vigas en una dirección. El 70 % presenta un esquema de planta irregular y el 80 % no presenta continuidad en sus ejes de columna. Todas las viviendas presentan adosamiento con las viviendas contiguas. Las Figuras 2a y 2b muestran viviendas típicas del sector.

a. Vivienda de tipo estructural mixto



b. Vivienda de un nivel de mampostería sin vigas de corona y techo liviano



Figura 1. Barrio El Jabillo

a. Vivienda de tipo estructural mixto de dos niveles y techo ligero



b. Vivienda de tipo estructural mixto de dos niveles y techo ligero



Figura 2. Barrio Guacarapa

La Guairita (municipio Plaza)

El barrio La Guairita se encuentra en ladera de montaña de pendiente comprendida entre los 20° y 45°. El sector tiene aproximadamente 45 años. El tipo estructural predominante es mixto, 37 de las 59 viviendas. El 48 % corresponde a viviendas de baja altura, siendo 31 de un nivel, 17 de dos niveles y 11 de tres o más niveles. Un 64 % no presenta un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia. Las irregularidades predominantes son la ausencia de vigas (66 %) y muros (58 %) en una dirección, el esquema de planta irregular (37 %) y el adosamiento (100 %). Las Figuras 3a y 3b muestran viviendas típicas del sector.

Las Casitas (municipio Zamora)

El barrio Las Casitas se encuentra ubicado en ladera de montaña con pendiente comprendida entre los 20° y los 45°. Tiene aproximadamente 35 años. El 73 % de las viviendas es de tipo estructural mixto (61 de 84). El 92 % es de baja altura, de las cuales 63 son de un nivel, 14 de dos niveles y 7 de tres o cuatro niveles. Un 85 % no cuenta con un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia. 57 de las 84 viviendas no poseen vigas en una dirección (68 %) y un 40 % tiene un esquema de planta irregular. Todas las viviendas presentan adosamiento. Las Figuras 4a y 4b muestran viviendas características del sector.

a. Vivienda de un nivel de mampostería sin vigas de corona y techo liviano



b. Vivienda de sistema mixto de dos niveles



Figura 3. Barrio La Guairita

a. Vivienda de sistema mixto de un nivel



b. Vivienda de sistema mixto de un nivel



Figura 4. Barrio Las Casitas

Ochoa (municipio Plaza)

El barrio Ochoa tiene aproximadamente unos 30 años y se encuentra en planicie de montaña. Todas las viviendas son de baja altura. De las 14 viviendas 7 son de tipo estructural mixto, 4 son de mampostería confinada y 3 de construcción precaria. El 71 % no posee un sistema formal

de drenaje de aguas servidas y de lluvia. La mayoría tiene un esquema de planta (71 %) y de elevación (100 %) regular; el adosamiento, la ausencia de vigas y de muros en una dirección son las irregularidades predominantes. Las Figuras 5a y 5b muestran viviendas características del sector.

Ruiz Pineda (municipio Plaza)

El barrio Ruiz Pineda tiene aproximadamente 40 años. Ubicado en planicie y en ladera de montaña de pendiente entre los 20° y 45°. Las viviendas son de baja altura (88 %). El tipo estructural característico es el mixto (50 %), sin embargo un 38 % son de construcción precaria. Un 75

% carece de un sistema formal de drenaje. Un 63 % y un 75 % tienen esquemas regulares de planta y de elevación, respectivamente. La ausencia de vigas y muros en una dirección, el adosamiento y la discontinuidad de ejes de columnas son las irregularidades observadas. Las Figuras 6a y 6b muestran viviendas características del sector.

a. Vivienda de tipo estructural de mampostería, ausencia de vigas de corona y techo ligero



b. Vivienda de tipo estructural mixto, losa de tablon



Figura 5. Barrio Ochoa

a. Vivienda de construcción precaria



b. Vivienda de tipo estructural mixto



Figura 6. Barrio Ruiz Pineda

Terrazas del Araguaey (municipio Plaza)

El barrio Terrazas del Araguaey se encuentra en ladera de montaña con pendiente entre 20° y 45°. Tiene aproximadamente 30 años. Las viviendas son de baja altura y no cuentan con un sistema formal de drenaje de aguas servidas y de lluvia. El 50 % de las viviendas son de construcción precaria y el 38 % tiene como tipo estructural la mampostería confinada. Se caracterizan por tener estructuras regulares en planta y elevación, solo 3 de 8 viviendas carecen de vigas en una dirección. Todas presentan adosamiento. Las Figuras 7a y 7b muestran viviendas características del sector.

Valle Verde (municipio Zamora)

El barrio Valle Verde se encuentra ubicado en ladera de montaña con pendiente comprendida entre los 20° y los 45°. Tiene aproximadamente 30 años. Las viviendas son de baja altura con ausencia de un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia. El tipo estructural predominante es mixto, 16 viviendas de las 28; sin embargo un 32 % es de construcción precaria (9 viviendas de 28). Son regulares en los esquemas de planta y elevación. El adosamiento, la ausencia de vigas en una dirección y la discontinuidad de ejes de columnas son las irregularidades representativas del sector. Las Figuras 8a y 8b muestran viviendas características del sector.

a. Vivienda de construcción precaria



b. Vivienda de construcción precaria



Figura 7. Barrio Terrazas del Araguañey

a. Vivienda de mampostería, viga de corona a medio construir



b. Vivienda de construcción precaria



Figura 8. Barrio Valle Verde

Zulia (municipio Plaza)

El Barrio Zulia se encuentra en planicie y ladera de montaña de pendiente entre los 20° y 45°. Tiene aproximadamente 30 años. El tipo estructural predominante es mixto (5 de 6 viviendas). Las viviendas son de baja altura, siendo 3 de un nivel y 3 de dos niveles. El 83 % carece de un sistema formal de drenaje de aguas servidas y de lluvia. Los esquemas de planta son irregulares. Presentan las siguientes irregularidades: ausencia de vigas y muros en una dirección, adosamiento y esquema de elevación irregular. Las Figuras 9a y 9b muestran las viviendas características del sector.

Zumba (municipio Plaza)

El barrio Zumba tiene aproximadamente 35 años. Ubicado en ladera de montaña de pendiente superior a 20°. La mayoría de las viviendas (7 de 10) son del tipo estructural mixto, de baja altura, 7 de un nivel y 3 de dos niveles. El 60 % no cuenta con un sistema formal de aguas servidas y de lluvia. Los esquemas de elevación son regulares. Un porcentaje elevado presenta esquemas irregulares de planta, adosamiento y ausencia de muros en una dirección. Las Figuras 10a y 10b indican viviendas características del sector.

a. Vivienda de tipo estructural mixto



b. Vivienda de tipo estructural mixto



Figura 9. Barrio Zulia

a. Vivienda de mampostería



b. Vivienda de tipo estructural mixto



Figura 10. Barrio Zumba

Viviendas inspeccionadas en Caracas

A continuación se resumen las principales características de las viviendas en los barrios inspeccionados, exceptuando El Casco Histórico Central, La Candelaria y Maripérez cuyas viviendas son similares a las de los otros sectores.

Camboya (municipio Libertador)

El barrio Camboya se encuentra ubicado en ladera de montaña de pendiente comprendida entre los 20° y 45°. Tiene aproximadamente 45 años. Las viviendas son de baja altura, 35 de 66 viviendas poseen un tipo estructural mixto, 20 de mampostería no confinada y 11 de mampostería confinada. El esquema de planta (62 %) y de elevación (76 %) es regular. El adosamiento (88 %) y la ausencia de vigas en una dirección (30 %) son las irregularidades típicas. Un

62 % posee un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia. Las Figuras 11a y 11b muestran viviendas características del sector.

La Silsa (municipio Libertador)

El barrio La Silsa se encuentra ubicado en ladera de montaña con pendiente comprendida entre 20° y 45°. Tiene aproximadamente 45 años, según la información suministrada por los dueños de las viviendas inspeccionadas. Las viviendas son de baja altura con ausencia de un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia. Predominan dos tipos estructurales, el mixto (39 %) y la mampostería no confinada (33 %). Se aprecia regularidad en los esquemas de planta y elevación. La ausencia de vigas en una dirección y el adosamiento son características comunes. Las Figuras 12a y 12b muestran viviendas características del sector.

a. Vivienda de tipo estructural mixto



b. Vivienda de mampostería sin confinar



Figura 11. Barrio Camboya

a. Vivienda de tipo estructural mixto



b. Vivienda de mampostería no confinada



Figura 12. Barrio La Silsa

Pajaritos (municipio Chacao)

El barrio Los Pajaritos tiene aproximadamente 55 años y se encuentra en planicie. Los tipos estructurales predominantes son el mixto (38 %) y el de mampostería no confinada (38 %), cada uno con 13 de las 34 viviendas. Las viviendas son de baja altura, 5 de un nivel, 17 de dos niveles y 12 de tres o más niveles. El 65 % carece de un sistema formal de drenaje de aguas servidas y de lluvia. Los esquemas de planta y elevación son regulares. El adosamiento (97 %) y la asimetría de masas (35 %) son las irregularidades comunes. Las Figuras 13a y 13b muestran viviendas características del sector.

Los Telares (municipio Libertador)

El barrio Los Telares tiene aproximadamente 45 años, se encuentra en ladera de montaña con pendiente que oscila entre los 20° y 45°. Las viviendas son de baja altura, 11 viviendas son de un nivel, 26 de dos niveles y 26 de tres

o más niveles. El tipo estructural es mixto. Los esquemas de planta (56 %) y de elevación (68 %) son irregulares. La discontinuidad de ejes de columnas (48 %) y el adosamiento (45 %) son características estructurales comunes. Tienen sistemas formales de drenajes de aguas servidas y de lluvia en sus viviendas (83 %). Las Figuras 14a y 14b muestran viviendas características del sector.

Santa Rosa (municipio Libertador)

El barrio Santa Rosa tiene aproximadamente 55 años y se encuentra en planicie. Los tipos estructurales predominantes son la mampostería no confinada y el sistema mixto, 37 y 35 viviendas respectivamente, de las 77. Las viviendas son de baja altura, el 73 %. Los esquemas de elevación y de planta son regulares. Las irregularidades predominantes son el adosamiento (75 %) y la ausencia de vigas en una dirección (38 %). Un 55 % carece de un sistema formal de drenaje. Las Figuras 15a y 15b muestran viviendas características del sector.

a. Vivienda de tipo estructural mixto



b. Vivienda de mampostería no confinada



Figura 13. Barrio Los Pajaritos

a. Vivienda de tipo estructural mixto



b. Vivienda de tipo estructural mixto



Figura 14. Barrio Los Telares

a. Vivienda de mampostería no confinada



b. Vivienda de tipo estructural mixto



Figura 15. Barrio Santa Rosa

Tipologías y características estructurales de la vivienda popular

Con base en las inspecciones realizadas, siguiendo la metodología descrita en la Sección 3.1, se identificaron cinco tipos estructurales característicos de las 626 viviendas examinadas, los cuales se describen en la Tabla 8 con su porcentaje correspondiente. Se indica allí el Tipo Estructural asociado según la Tabla 3 de la Sección 3.1. La Figura 16 presenta imágenes características de estos tipos estructurales. En la Tabla 8 se aprecia que el tipo estructural predominante es el sistema mixto de pórticos y mampostería de baja calidad constructiva (Tipos 12 y 13) con un 60,4 %, seguido de la mampostería no confinada con un 24,6 %.

Se entiende como sistema mixto de pórticos y mampostería de baja calidad constructiva a aquellas estructuras que están constituidas por vigas y columnas de concreto armado y

paredes de bloques de arcilla que cumplen una función portante. En ciertos casos se observan bloques de concreto. La baja calidad constructiva se debe al limitado poder adquisitivo de los interesados, al uso de materiales de baja resistencia, a la mala calidad de la mano de obra y a la poca o ninguna supervisión de la construcción.

Las viviendas de construcción precaria (8,5 %) y las de bahareque (0,5 %) solo se observaron en Guarenas-Guatire. La distribución porcentual del número de pisos se muestra en la Tabla 9. Predominan las viviendas de un piso con un 44,5 % y las de dos pisos con un 33,4 %. No se observaron viviendas mayores a seis pisos. Las viviendas de cuatro, cinco y seis pisos representan un 3,9 %. Un 58 % de la muestra de viviendas no posee drenajes y un 42 % sí cuenta con ellos. Un 72 % se encuentran ubicadas en laderas de las montañas, un 26 % se encuentran en planicie y el 2 % restante en la cima de las montañas.

Tabla 8. Descripción y distribución porcentual de tipologías estructurales

Tipo Estructural (Tabla 3)	Descripción	%
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a dos pisos (Figura 16e)	47,6
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos (Figura 16f)	12,8
11	Vivienda de mampostería no confinada: estructura compuesta por muros de bloques trabados y unidos por mortero (Figura 16c)	24,6
15	Vivienda de construcción precaria: estructura constituida por materiales de desecho tales como láminas de zinc, madera, cartón piedra, tierra y otros. (Figura 16a)	8,5
10	Vivienda de mampostería confinada: estructura compuesta por muros de bloques trabados unidos por mortero, enmarcados por elementos de concreto armado denominados machones (elementos verticales) y vigas de corona (elementos horizontales) (Figura 16d)	6,0
14	Vivienda de bahareque: Estructura constituida por caña brava entretejida y barro, con paredes frisadas en la mayoría de los casos (Figura 16b)	0,5

Tabla 9. Distribución porcentual del número de pisos

Número de pisos	1	2	3	4	5	6
%	44,5	33,4	18,0	3,0	0,8	0,1

(a) Construcción precaria



(b) Bahareque



(c) Mampostería no confinada



(d) Mampostería confinada



(e) Sistema mixto



(f) Sistema mixto



Figura 16. Tipologías estructurales típicas de las viviendas populares

De mediciones efectuadas en un grupo más reducido de viviendas, correspondientes al sector Los Telares, se observó que ellas presentan en general similitudes en la geometría de las secciones de los elementos de concreto armado. La

sección típica de las vigas es de 20 cm x 20 cm y la de las columnas es de o de 20 cm x 20 cm en las viviendas de uno o dos pisos y de 25 cm x 25 cm en las de mayor altura. La distancia entre ejes de columnas varía entre 1 metro y 5

metros, pero se aprecian valores predominantes alrededor de los 3 metros. La altura característica de entrepiso es de 2,40 m.

Predominan las paredes de bloques de arcilla, con bloques de 15 cm de espesor, 30 cm de largo y 20 cm de alto. Los bloques de concreto más comunes son de 20 cm de espesor, 30 cm de largo y 20 cm de alto, los cuales son principalmente empleados para la construcción de muros o paredes que estarán en contacto con el terreno.

Las losas de entrepiso generalmente están constituidas por tabelones (bloques de arcilla) con un largo de 80 cm, alto de 8 cm y ancho de 20 cm, con perfiles IPN 80. Sin embargo, se observa en menor proporción el uso de las siguientes losas: a) Placa de entrepiso de tabelones con nervios de concreto con un acero longitudinal de 3/8" y estribos de 3,2 mm cada 20 cm aproximadamente; b) Losa de concreto armado con barras de 1/2" y de 3/8" entrelazadas, con un vaciado de concreto; c) Losacero, lámina corrugada de acero y un vaciado de concreto armado sobre ella. Las losas de techo son livianas y en caso de que se planifique ampliar la vivienda a futuro se emplea una losa de entrepiso.

El acero de refuerzo más usado para los elementos estructurales es de un diámetro de 1/2", pero pueden también ser de 1/4" o 5/8". La superficie de las cabillas generalmente es corrugada. Para los estribos y ligaduras se usan cabillas de superficie lisa de 1/8" de diámetro.

El concreto es usado para construir fundaciones, machones y columnas, vigas de corona y losetas de entrepiso o techo. Para la elaboración de estos elementos la mezcla comúnmente empleada es de un saco de cemento (42,5 kg), seis latas de arena lavada gris, tres latas de piedra picada N° 1 (o en su defecto N° 3/4) y cuatro a cinco latas de agua. En la Tabla 10 se muestran los resultados de ensayos de núcleos extraídos en viviendas existentes del barrio Telares de Palo Grande. La media de los ensayos es de 131 kg/cm². La mezcla para el mortero para unir los bloques en las paredes es de medio saco de cemento (21,25 kg aproximadamente), ocho latas de arena y cuatro o cinco latas de agua. Para un saco de cemento (42 kg), se emplean diez latas de arena y cuatro a cinco latas de agua.

Tabla 10. Resistencia del concreto en núcleos de viviendas del Barrio Telares de Palo Grande, determinadas en el año 2013

Núcleo	1	2	3	4	5
Resistencia (kg/cm ²)	107	78	107	210	151

Índices de vulnerabilidad y riesgo

Se calculó el índice de vulnerabilidad (I_v) dado por la ecuación (1) para cada una de las 626 viviendas inspeccionadas. Los índices de vulnerabilidad varían entre 50 a 93 (Tabla 11), los cuales de acuerdo a la Tabla 6 se corresponden con una vulnerabilidad elevada (8%) a muy elevada (92%). Como referencia se tiene que el

Liceo Raimundo Martínez Centeno y la escuela Valentín Valiente, edificios escolares de construcción formal que se derrumbaron ante el sismo de Cariaco de 1997, poseían índices de vulnerabilidad de 49,7 y 59,7, respectivamente. El edificio Mijagual derrumbado en el sismo de Caracas de 1967 tenía un índice de 67,2 (López y otros, 2014). El valor promedio de I_v es de 73, lo cual indica que las viviendas inspeccionadas son muy vulnerables ante acciones sísmicas.

Tabla 11. Índices de vulnerabilidad obtenidos

Índice de vulnerabilidad (I_v)		
Mínimo	Máximo	Promedio
49,50	92,60	72,80

MOVIMIENTO SÍSMICO PARA DAÑO ESTRUCTURAL COMPLETO

Idealización de la estructura y movimiento sísmico

Se seleccionó un pórtico representativo de las viviendas de los barrios, de dos vanos con longitudes de 2,4 m cada uno

y tres niveles con alturas de 2,7 m, los dos primeros con losas de tabelones teniendo el tercer nivel un techo liviano. Para efectos del análisis se modela una estructura de dos niveles y la masa del último entrepiso se añade al segundo nivel. Las columnas son de 20 cm x 20 cm y las vigas de 15 cm x 20 cm. Las paredes de bloques de arcilla son de 15 cm de espesor sin frisar. El acero longitudinal de los elementos

estructurales (vigas y columnas) es de $4 \phi 1/2''$ y el acero transversal está constituido por barras de $1/8''$ separadas cada 20 cm.

Para la asignación de las cargas de gravedad se consideró un área tributaria para el pórtico de $14,58 \text{ m}^2$ con una carga variable de 175 kg/m^2 . La carga permanente incluyendo losa, paredes y estructura es de 746 kg/m^2 . El peso sísmico que incluye el 25 % de las cargas variables es de 27,6 toneladas, de las cuales 11,5 corresponden al Nivel 1 y 16,1 al Nivel 2, el cual incluye el peso del Nivel 3. Para los materiales se consideró una resistencia media del concreto de 130 kg/cm^2 y una resistencia cedente media del acero de 5.250 kg/cm^2 . Se adopta una resistencia a compresión de la mampostería de bloques de arcilla de 12 kg/cm^2 , una resistencia al corte de 2 kg/cm^2 y un módulo de elasticidad de 6.000 kg/cm^2 . Para el análisis se consideró una rigidez efectiva igual al 75 % de la rigidez de las secciones gruesas, juntas rígidas y columnas empotradas a nivel de las fundaciones.

Se consideran cuatro estructuras posibles según sea la presencia de las paredes. Las estructuras a ser analizadas se muestran en la Figura 17. Las estructuras típicas son las numeradas 2, 3 y 4 que contienen paredes, pero se añade la estructura 1 sin paredes para propósitos comparativos. Los periodos de vibración del modo fundamental de cada estructura se muestran en la Figura 17, notándose el aumento significativo de rigidez que introducen las paredes. La acción sísmica se describe por las formas espectrales de aceleraciones para cuatro condiciones de sitio (Figura 18) correspondientes a la microzonificación sísmica de la ciudad de Caracas: R3-T0 es roca sin efectos topográficos, R3-T2 es roca con pendiente mayor o igual a 37° , con efectos topográficos, 4-2 es un suelo intermedio con VS30 entre 185 m/s y 325 m/s y profundidad entre 60 a 120 metros, y 6-2 es un suelo suave con VS30 menor que 185 m/s y profundidad mayor que 220 metros (FUNVISIS, 2009).

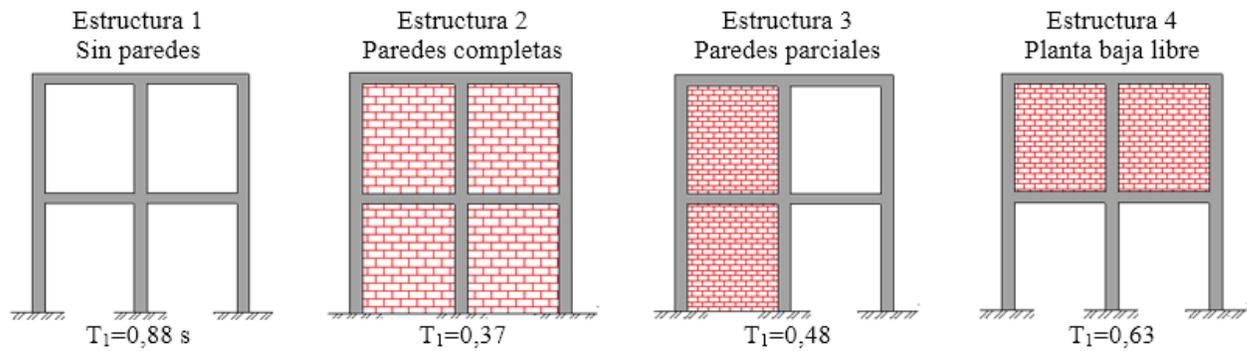


Figura 17. Estructuras consideradas para el análisis

Capacidad estructural y aceleraciones asociadas a daño completo

Las estructuras fueron analizadas para un empuje lateral progresivo aplicado estáticamente, desde una carga inicial de cero, la cual se incrementó progresivamente hasta producir un estado de daño completo. El patrón de carga lateral sigue la forma del primer modo de vibración de cada estructura. Se empleó una biela diagonal equivalente para el modelado de las paredes de la vivienda. Las propiedades, rigidez y resistencia de la biela se determinaron según se recomienda en el ASCE 41-13 (ASCE, 2013). El ancho de la biela equivalente es de 35 cm y su resistencia a compresión es de 3 t.

Para el análisis inelástico se considera un modelo de plasticidad concentrada definiendo rótulas plásticas a flexocompresión en los extremos de columnas, rótulas

plásticas a flexión en los extremos de vigas, rótulas frágiles a corte en las columnas y rótulas frágiles a compresión axial en las bielas que representan las paredes. Las deformaciones plásticas máximas en vigas, columnas y paredes se toman del ASCE 41-13 (ASCE, 2013), en donde se consideran como elementos de baja ductilidad. Para las columnas se tiene una rotación plástica máxima de 0,012 radianes y para las vigas de 0,020 radianes, las cuales son seguidas de una caída de resistencia hasta alcanzar una resistencia residual del 20 % de la resistencia cedente. El análisis estático no lineal se efectuó con el programa SAP2000 Versión 14 (CSI, 2011).

La Figura 18b muestra la curva de capacidad para cada una de las estructuras; se grafica la relación entre la carga lateral aplicada, dividida entre el peso de la estructura, y la deriva global la cual es igual al desplazamiento lateral del último nivel dividido entre la altura total (4,80 m). La Estructura 1

(Pórtico sin paredes) alcanza una deriva máxima del veinte por mil y una resistencia máxima de aproximadamente 17 % del peso. La presencia de paredes en todos los vanos y en todos los niveles (Estructura 2) aumenta la resistencia hasta un 30 % del peso, pero disminuye la deriva máxima hasta aproximadamente un 10,5 por mil, en relación a la estructura sin paredes. La presencia de paredes en un solo vano (Estructura 3) representa una situación intermedia entre los dos casos descritos de las Estructuras 1 y 2. La presencia de una planta baja libre por la ausencia de paredes en el primer nivel (Estructura 4) da lugar a una conducta más frágil, lo que disminuye la capacidad de deformación de la estructura hasta aproximadamente diez por mil.

El daño estructural completo se define al alcanzarse el desplazamiento último indicado en las curvas de capacidad de la Figura 18b para cada estructura. Se determinó para cada estructura y cada forma espectral la aceleración del terreno en roca que ocasiona que se alcance el desplazamiento último, determinada mediante el método de los coeficientes (ASCE, 2013), las cuales se presentan en la Tabla 12. Se aprecia que la incorporación de las paredes conduce a una mayor aceleración y por tanto menor vulnerabilidad, para todos los tipos de suelos, a excepción de la estructura con planta baja libre en donde la inclusión de las paredes reduce notablemente la aceleración que resiste la estructura debido a la activación de mecanismos de falla frágil. Las estructuras más vulnerables son las ubicadas sobre suelo blando (6-2).

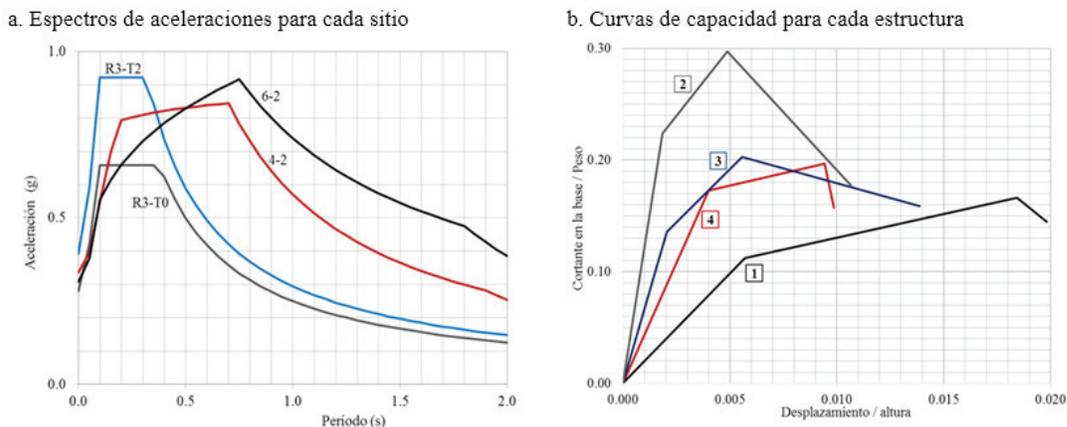


Figura 18. Espectro de aceleraciones y curvas de capacidad para cada estructura

Tabla 12. Aceleración (g) en roca para alcanzar el estado de daño completo

Estructura	Tipo de Suelo			
	R3-T0	R3-T2	4-2	6-2
1 Sin paredes	0,41	0,35	0,18	0,14
2 Paredes completas	0,44	0,36	0,34	0,34
3 Paredes parciales	0,48	0,41	0,29	0,28
4 Planta Baja libre	0,24	0,21	0,11	0,10

CONCLUSIONES

De los resultados de la inspección de 626 viviendas populares pertenecientes a quince barrios de las ciudades de Guarenas, Guatire y Caracas, se infiere que el tipo constructivo más común es el sistema mixto de pórticos y mampostería de baja calidad constructiva (60,4 %), seguido del de mampostería no confinada (24,6 %), construcciones precarias de diversos materiales (8,5 %), mampostería confinada (6 %) y bahareque (0,5 %). El sistema mixto

de pórticos y mampostería de baja calidad constructiva se caracteriza por una estructura compuesta por la combinación de dos tipos: 1) pórticos de concreto armado rellenos o no con paredes, y 2) paredes de mampostería sin confinar que cumplen una función portante, ambos tipos de baja calidad de construcción.

En los barrios inspeccionados predominan las viviendas de un piso con un 44,5 % y las de dos pisos con un 33,4 %. No se observaron viviendas mayores a 6 pisos. Las viviendas

de cuatro, cinco y seis pisos representan un 3,9 %. De inspecciones detalladas hechas en 63 viviendas se aprecian valores predominantes de altura de entrepiso de 2,40 m, secciones de elementos de concreto armado de 20 cm x 20 cm y 25 cm x 25 cm, y distancias entre ejes de columnas con valores predominantes alrededor de los 3 metros. El valor promedio del índice de vulnerabilidad sísmica para la muestra de viviendas inspeccionadas es de 73, el cual se cataloga como muy elevado. Dicho índice supera a los valores de vulnerabilidad obtenidos para el edificio Mijagual, el cual se derrumbó en el sismo de Caracas de 1967 y para el Liceo Raimundo Martínez Centeno y la escuela Valentín Valiente, derrumbados en el sismo de Cariaco de 1997.

Se estudió analíticamente en detalle una estructura típica de un pórtico plano, considerando cuatro configuraciones distintas variando la distribución de las paredes. El análisis estático no lineal indica que la estructura sin paredes alcanza una deriva máxima del veinte por mil y una resistencia máxima de aproximadamente 17 % del peso. La presencia de paredes en todos los vanos y en todos los niveles aumenta la resistencia hasta un 30 % del peso, pero disminuye la deriva máxima hasta aproximadamente un 10,5 por mil, en relación a la estructura sin paredes. La presencia de paredes en un solo vano de la estructura da lugar a una resistencia y a una deriva máxima comprendida entre los dos casos anteriores. La presencia de una planta baja libre por la ausencia de paredes en el primer nivel da lugar a una conducta más frágil, disminuyendo la capacidad de deformación de la estructura hasta aproximadamente diez por mil. Para cada forma espectral se determinó la aceleración del terreno en roca que ocasiona que se alcance el desplazamiento último de la estructura. La inclusión de paredes aumenta la aceleración que resiste la estructura para todos los tipos de suelos, a excepción de la estructura con planta baja libre, en donde se reduce notablemente la aceleración debido a la activación de mecanismos de falla frágil. Las estructuras más vulnerables son las ubicadas sobre suelo blando.

Se recomienda la extensión de esta metodología de evaluación a otros barrios del país así como el desarrollo de programas de evaluación detallada y eventual reforzamiento estructural de viviendas populares a fin de reducir el riesgo sísmico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento aportado por el FONACIT, Proyecto N° 2011000716, desarrollado en FUNVISIS como Proyecto SismoCaracas, y a los demás

miembros del Grupo de Trabajo que participaron en las inspecciones.

REFERENCIAS

- ASCE (2013). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. ASCE 41-13. American Society of Engineer Civil. Virginia: EEUU.
- BENDITO A., ROZELLE J. y BAUSCH D. (2014). Assessing Potential Earthquake Loss in Mérida State, Venezuela, Using Hazus. *Int J Disaster Risk Sci*, www.ijdrs.com, www.springer.com/13753.
- BOLÍVAR, T.; GUERRERO, M.; ROSAS, I.; ONTIVEROS, T.; DE FREITAS, J. (1994). Densificación y vivienda en los barrios caraqueños. Contribución a la determinación de problemas y soluciones. Caracas: Conavi-Mindur.
- CANO P. (2003). Rehabilitación de viviendas en zonas de barrios: Caracterización, diagnóstico y propuestas de Reforzamiento estructural. Aplicación a un caso de estudio en el sector 11 de agosto, Quebrada Anauco, Caracas. (Trabajo de grado). Idec-Fau-UCV, Venezuela.
- CASTILLA E. (1994). Recomendaciones para el diseño sismorresistente de paredes de mampostería confinada de bloques huecos de arcilla. En: *Contribuciones recientes a la ingeniería estructural y sismorresistente*, Caracas: SVMNI.
- CASTILLA E. (1998). Evaluación de la respuesta de muros confinados de bloques de concreto contra ciclos severos de carga lateral. (Tesis Doctoral), Universidad Central de Venezuela
- CASTILLA E., LAFUENTE M y GENATIOS C. (1995). Sobre el comportamiento sismorresistente de estructuras de muros de mampostería. III Congreso Internacional Energía, Ambiente e Innovación Tecnológica. Caracas 5 al 11 de noviembre de 1995.
- CASTILLO A., LOPEZ-ALMANSA F. y PUJADES L. G. (2011). Seismic Risk Analysis of Urban Non-Engineered Buildings: Application to an Informed Settlement in Merida, Venezuela. *NatHazards*, 59: 891-916.
- CSI (2011). *CSI Analysis Reference Manual, for SAP 2000, ETABS, SAFE and Csi Bridge*. Berkeley, California, USA.

- FEMA-NIBS (2009). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4, Advance Engineering Building Module, Technical and User's Manual*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency & National Institute of Building Sciences.
- FUENTES J. y PALACIOS L. (2014). Evaluación sísmica de viviendas populares del barrio Los Telares de Palo Grande. (Trabajo Especial de Grado), Universidad Central de Venezuela.
- FUNVISIS (2009). *Informe técnico final, volumen I Caracas, Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto*. Proyecto FONACIT 200400738. Descargable desde <http://www.funvisis.gob.ve>.
- IMME (2004). Evaluación de *muros portantes del proyecto de investigación desarrollo de sistema de muros de mampostería estructural confinada de rápido montaje para la vivienda de bajo costo*. Informe N° 209790-A. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Facultad de Ingeniería, UCV GUERRERO A. y ZEOLI G. (2011). Efectos de los terremotos sobre las viviendas populares de un sector del barrio telares de palo grande. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela
- JICA (2004). *Plan básico de prevención de desastres en el distrito metropolitano de caracas en la república bolivariana de venezuela. informe final*. Pacific Consultants International en asociación con OYO International Corporation.
- LAFUENTE M. y GENATIOS C. (2000). Experiencias sobre el comportamiento sísmico de estructuras de muros de mampostería. En: *Desastres Sísmicos en Desarrollo, Seminario 2000.*, Caracas
- LÓPEZ O. A., CASTILLA E., GENATIOS C., LAFUENTE. y CARVAJAL O. (1986). Estudios en Mampostería Estructural. *Vivienda 86, Exposición y Encuentro Venezolano de la Vivienda*, 1, (pp. 1-38) Universidad Central de Venezuela
- LÓPEZ, O., CORONEL, G., ASCANIO, W., ROJAS, R., RENGEL, J., PÁEZ, V., OLBRICH, F. y GONZÁLEZ, J. (2014). *Índices de priorización para edificios para la gestión de riesgos sísmicos, informe técnico fun-002, 2014*. Departamento de Ingeniería Sísmica, FUNVISIS. Caracas.
- LÓPEZ, O., CORONEL, G. y ROJAS, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existente. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 29(4), pp. 107-126
- MARINILLI A. y CASTILLA E. (2007). Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones. *Boletín Técnico IMME*, 45(2).
- MEBARKI A. y VALENCIA N. (2003). Vulnerabilidad sísmica de construcciones informales en mampostería: riesgos sísmicos y mapas SIG. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 8(2).
- PÁEZ V. (2016). *Evaluación del riesgo sísmico en viviendas populares* (Tesis de maestría) Universidad Central de Venezuela.
- PALLADINO B. y PERNA O. (1983). Características estructurales de viviendas de mampostería ubicadas en zonas sísmicas. (Trabajo de Grado). Universidad Central de Venezuela
- ROSAS I. (1988). Construcción y calidad de las viviendas en los barrios. *Revista Tecnología Construcción* (4).
- ROSAS I., MARCANO I. y MACHADO C. (2008). *Clasificación tipológica de estructuras existentes en las viviendas autoproducidas en barrios urbanos. Informe de Avance 2*. CRU FAU-UCV.