

CLASIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LAS EDIFICACIONES DE VIVIENDA EN VENEZUELA CON FINES DE GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

MSc. Ing. Gustavo Coronel D.¹, Ing. Romme Rojas², Ing. José G. Rengel²

¹ Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Facultad de Ingeniería de la UCV, Asesor de FUNVISIS, *gustavocoroneld@gmail.com*

² Departamento de Ingeniería Sísmica, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), *rojas.documentos@gmail.com*

RESUMEN

En Venezuela el 70% de las viviendas se concentran en las ciudades con la mayor amenaza sísmica según los datos del censo de población y vivienda de 2011, lo cual nos motiva a evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de nuestras edificaciones residenciales. Para ello es necesario además de cuantificar la amenaza, recopilar información de las estructuras expuestas a los terremotos, su localización y las características que condicionan su vulnerabilidad, tales como: el material de la estructura, la tipología estructural, la altura, el año de construcción, entre otras. En este trabajo se presenta y propone una clasificación de las edificaciones de vivienda en Venezuela a partir de 22 tipologías estructurales básicas identificadas y una clasificación detallada a partir del año de construcción o nivel de diseño, el número de pisos, la pendiente del terreno y los efectos locales, dependiendo de la escala a la que se desea hacer la evaluación. Se plantean dos metodologías para estimar la cantidad y distribución porcentual de las tipologías: una a partir de la información del Censo de 2011 y la opinión de expertos, y otra a partir de la definición de zonas homogéneas con imágenes satelitales junto a un muestreo de las tipologías mediante inspecciones rápidas. Finalmente se presenta la aplicación estas metodologías a toda Venezuela y al Área Metropolitana de Caracas, resultando la distribución estimada de cada tipología estructural, siendo las más predominantes las casas de mampostería (viviendas populares) y las edificaciones de pórticos de concreto reforzado. Esta información servirá como insumo para evaluar su vulnerabilidad y finalmente el riesgo sísmico en Venezuela.

Palabras clave: Riesgo Sísmico, Vulnerabilidad, Edificaciones, Vivienda, Tipologías Estructurales.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del Riesgo Sísmico (R) requiere caracterizar la Amenaza Sísmica (A) y la Vulnerabilidad (V) de los elementos expuestos a ella. El riesgo sísmico suele definirse como el producto de estas variables ($R = A \cdot V$), pero en términos probabilísticos representa una convolución matemática. Una tercera variable que interviene en la evaluación del riesgo sísmico, tanto en la amenaza como en la vulnerabilidad es la Exposición (E), la cual es caracterizada por: i) la localización de los elementos expuestos y su relación con la amenaza sísmica; ii) la clasificación, cuantificación y definición de los elementos expuestos y de las características que condicionan su vulnerabilidad; y iii) el valor expuesto desde

punto de vista social y económico. En el caso de las edificaciones, caracterizar su exposición implica estimar o inventariar las casas y edificios definiendo sus características estructurales tales como: el material de la construcción, la tipología estructural, el año de construcción, la altura, entre otros. El grado de detalle dependerá de la escala de evaluación la cual puede ser a nivel Nacional, Ciudad o Local.

En Venezuela se han hecho esfuerzos por clasificar y estimar las edificaciones con fines de gestión del riesgo tal como como lo hicieron en el proyecto Ávila (Delgado y Ortiz, 2002), y se continuó para el Plan Básico de Prevención de Desastre de Caracas (JICA, 2005), donde se propusieron 8 tipologías estructurales básicas y 20 tipologías detalladas según la antigüedad y el número de pisos: 9 de pórticos de concreto, 2 de muros de concreto, 2 de muros prefabricados, 2 de acero, 1 de mampostería, 2 informales de barrio y 2 informales rurales (Safina, 2005; JICA, 2005); se estimaron 314.657 edificaciones en 30 Parroquias estudiadas de las cuales 296.287 resultaron de uso residencial, de éstas el 22,0% en zonas urbanas, 69,5% en zonas de barrios y 8,5% en zonas rurales. De una muestra de 1.003 inspecciones rápidas en 29 Unidades de Vulnerabilidad Analizada (UVA) en zonas urbanas de los Municipios Libertador, Sucre y Chacao se obtuvo un 82,0% de edificios de concreto reforzado, 14,2% de mampostería de ladrillo, 3,9% de Acero y 0,5% de Adobe.

Otros estudios en los cuales se han hecho clasificaciones e inventarios de edificios han sido: el estudio de Amenazas Naturales y Vulnerabilidad de la Ciudad de Cumaná (Grases *et al.*, 2004). El Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas y Barquisimeto (FUNVISIS, 2009), donde se clasificaron las edificaciones de pórticos de concreto por el año de construcción asociado a la combinación de normas sísmicas y de diseño (Hernández, 2009). El Proyecto desarrollado por el Instituto de Protección Civil y Ambiente de Chacao (IPCA) junto a FUNVISIS para el estudio de la vulnerabilidad de los edificios del sector de los Palos Grandes (Safina *et al.*, 2009). El Proyecto de Reducción de Riesgo Sísmico en Escuelas donde se realizó un inventario de escuelas basado en la tipología constructiva, el número de pisos y el año de construcción (IMME, FUNVISIS y FEDE, 2011; Coronel y López, 2013; Marinilli *et al.*, 2015).

En Bendito *et al.* (2014) proponen para el estado Mérida en Venezuela un modelo de exposición de edificaciones de todos los usos en la evaluación del riesgo sísmico, con base a lo propuesto por Castillo (2006) se utilizan 7 tipologías: 5 de concreto reforzado (3 de pórticos, 1 de muros y 1 de muros prefabricados), 1 de acero y 1 de mampostería, las cuales se discriminaron por año de construcción, se indica que el 95% de los edificios de Mérida son de 1 a 3 pisos; como resultado obtuvieron una distribución porcentual de 36,6% de estructuras de concreto, un 5,8% de acero y un 57,6% de mampostería para las 375.029 edificaciones estimadas en el estado Mérida de las cuales 305.689 son definidas como uso residencial.

Más recientemente en el Proyecto SismoCaracas, se presenta en el Informe Técnico de FUNVISIS (López *et al.*, 2014) y en López, Coronel y Rojas (2014), una metodología para inspeccionar edificaciones y se definen 15 tipologías estructurales junto a otro datos como el año de construcción, las irregularidades estructurales, la altura y el grado de deterioro

que son utilizados para calcular índices de priorización. Entre los años 2013 y 2015 se lleva a cabo una evaluación del Perfil de Riesgo de Desastre en Venezuela (BID, 2015), en este estudio se realiza un modelo de exposición de las construcciones basado en el área construida y el valor económico, obteniendo para las edificaciones un total de 698.898 mil metros cuadrados de construcción de los cuales 49,1% resultó de uso residencial. Estas edificaciones fueron clasificadas en 7 tipologías estructurales: 2 de pórticos de concreto, 2 de mampostería, 2 de madera y 1 de adobe.

En el año 2013 se da inicio al Proyecto SARA (*South America Risk Assessment*) promovido por la Fundación GEM (*Global Earthquake Model*) para la Evaluación Integrada del Riesgo Sísmico en los 7 países andinos expuestos a los terremotos: Perú, Ecuador, Venezuela, Colombia, Bolivia, Chile y Argentina. En este proyecto se ha desarrollado un modelo de exposición a partir de la información de los censos de estos 7 países y con base en una clasificación de 40 tipologías de las cuales 18 se identificaron en Venezuela (Yepes-Estrada *et al.*, 2015). En el marco del proyecto SARA surge en el 2015 el convenio de colaboración GEM-FUNVISIS para la Evaluación Integrada del Riesgo Sísmico en Venezuela con el objetivo de realizar modelos más detallados en el país, para lo cual se planteó como actividad identificar, clasificar, describir y estimar las tipologías estructurales de las edificaciones de uso residencial en Venezuela, lo cual es el objetivo de este trabajo.

1. INFORMACIÓN DEL CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA

El censo de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011) está compuesto por dos estructuras de datos: el Registro de Unidades Inmobiliarias (RUI) que se ejecutó previamente y el Censo. La información relevante para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico contenida en el RUI es: el Tipo de Edificación, Número de Pisos, Esquema en Planta, Esquema en Elevación, Tipo de Área y Uso; por otro lado en el Censo: el Tipo de Vivienda, Material predominante en Paredes Exteriores, Material predominante en el Techo, Material predominante en el Piso y el Año de Construcción del Inmueble (Figura 1). Tanto el esquema en planta y elevación como el año de construcción fueron promovidos desde FUNVISIS para este fin y son datos novedosos en Suramérica. Hasta la fecha sólo los datos del Censo son públicos y se encuentran disponibles en Internet (INE, 2011).

<p>1. TIPO DE VIVIENDA</p> <p>A) FAMILIAR</p> <p><input type="radio"/> Quinta o casaquinta</p> <p><input type="radio"/> Casa</p> <p><input type="radio"/> Apartamento en edificio</p> <p><input type="radio"/> Apartamento en quinta, casaquinta o casa</p> <p><input type="radio"/> Casa de vecindad</p> <p><input type="radio"/> Rancho</p> <p><input type="radio"/> Refugio</p> <p><input type="radio"/> Vivienda indígena</p> <p><input type="radio"/> Otra clase</p> <p style="text-align: right;">→ Pase a la pregunta 20 y luego a la Sección IV</p>	<p>4. MATERIAL PREDOMINANTE EN EL TECHO</p> <p><input type="radio"/> Platabanda</p> <p><input type="radio"/> Teja</p> <p><input type="radio"/> Láminas asfálticas</p> <p><input type="radio"/> Láminas metálicas (zinc, aluminio y similares)</p> <p><input type="radio"/> Asbesto y similares</p> <p><input type="radio"/> Láminas de policloruro de vinilo (pvc)</p> <p><input type="radio"/> Palma o similares</p> <p><input type="radio"/> Otros (latón, tablas o similares)</p> <p><input type="radio"/> No tiene techo</p>
	<p>7. MATERIAL PREDOMINANTE EN EL PISO</p> <p><input type="radio"/> Mármol, mosaico, granito, vinil, cerámica, ladrillo, terracota, parquet, alfombra y similares</p> <p><input type="radio"/> Cemento</p> <p><input type="radio"/> Tierra</p> <p><input type="radio"/> Tablas</p> <p><input type="radio"/> Otros</p>

<p>3. MATERIAL PREDOMINANTE EN LAS PAREDES EXTERIORES</p> <p><input type="radio"/> Bloque, ladrillo o adobe frisado (acabado)</p> <p><input type="radio"/> Bloque, ladrillo o adobe sin frisar (no acabado)</p> <p><input type="radio"/> Ladrillo, adobe sin frisar (obra limpia)</p> <p><input type="radio"/> Concreto</p> <p><input type="radio"/> Madera aserrada</p> <p><input type="radio"/> Láminas de policloruro de vinilo (pvc)</p> <p><input type="radio"/> Tapia o bahareque frisado</p> <p><input type="radio"/> Tapia o bahareque sin frisar</p> <p><input type="radio"/> Troncos</p> <p><input type="radio"/> Piedra</p> <p><input type="radio"/> Palma o similares</p> <p><input type="radio"/> Otros (láminas de zinc, cartón, tablas o similares)</p> <p><input type="radio"/> No tiene paredes exteriores</p>	<p>15. LOS AÑOS DE CONSTRUIDA QUE TIENE APROXIMADAMENTE ESTA VIVIENDA SON:</p> <p><input type="radio"/> Menos de 10 años</p> <p><input type="radio"/> De 10 a 13 años</p> <p><input type="radio"/> De 14 a 28 años</p> <p><input type="radio"/> De 29 a 43 años</p> <p><input type="radio"/> De 44 a 56 años</p> <p><input type="radio"/> Más de 56 años</p> <p><input type="radio"/> No Sabe</p>
--	--

Figura 5. Preguntas sobre Características de la Vivienda en el Censo (INE, 2011).

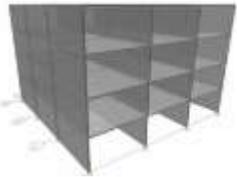
2. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS EDIFICIACIONES

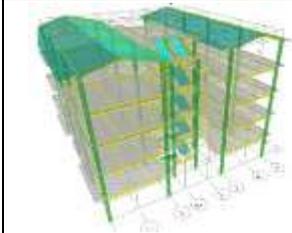
2.1 Tipologías Estructurales de Vivienda en Venezuela

En Venezuela las tipologías estructurales utilizadas para la construcción de edificaciones de vivienda o de uso residencial (Casas, Quintas, Edificios o Ranchos) pueden clasificarse en dos grandes grupos: 1) Edificaciones cuya construcción puede denominarse formal porque han sido hechas a partir de un proyecto de arquitectura e ingeniería por parte de entes públicos o empresas privadas (Quintas, Edificios y algunas Casas); y 2) Edificaciones populares desarrolladas sin lineamientos normativos (Casas y Ranchos).

Las estructuras formales para vivienda en Venezuela que han contado con normas para el diseño y construcción son las estructuras de pórticos y muros de concreto armado o reforzado y de pórticos de acero con o sin arriostramientos. En la actualidad estas estructuras se diseñan con la norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistente COVENIN 1756-2001, y la norma no oficial para el diseño edificaciones de concreto Fondonorma 1753:2006 y acero COVENIN 1618:1998. En la Tabla 1 se describen las tipologías comúnmente utilizadas en las edificaciones formales de vivienda en Venezuela.

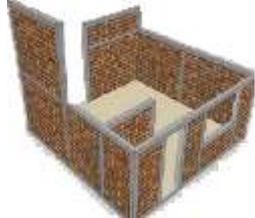
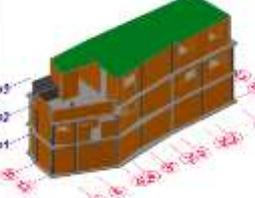
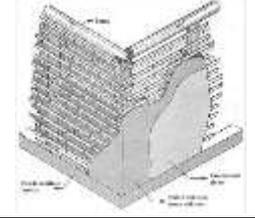
Tabla 4. Tipologías Estructurales Formales de Uso Residencial en Venezuela.

Foto	Ilustración	Descripción
		Estructura de pórticos (vigas y columnas) de concreto armado o reforzado predominantemente con paredes de bloque como relleno (Foto G. Coronel e ilustración tomadas de López <i>et al.</i> , 2014).
		Estructura de muros de concreto armado o reforzado, predominantes en una sola dirección debido al sistema constructivo tipo túnel (Foto G. Coronel e ilustración tomadas de López <i>et al.</i> , 2014).

		<p>Estructura de pórticos (vigas y columnas) de acero con paredes de bloque como relleno, en algunos casos con perfiles Tipo H o tubulares. También existen pórticos arriostrados o diagonalizados. (Foto e ilustración G. Coronel).</p>
---	---	--

Las edificaciones de vivienda popular en Venezuela construidas sin lineamiento normativos (Tabla 2) son predominantemente a base de bloques, dando origen a distintas tipologías como la mampostería confinada para la cual aún no existe una norma en Venezuela pero que han sido construidas siguiendo lineamientos que pueden encontrarse en manuales para la construcción como los más recientes fascículos de Vivienda Segura publicados en la página Web FUNVISIS, entre otros. Las tipologías más frecuentes que identificamos en las principales ciudades de Venezuela son a base de bloques que pueden considerarse como estructuras mixtas de mampostería y miembros o elementos de concreto de baja calidad constructiva. Por otro lado en las ciudades más antiguas aún existen algunas viviendas coloniales de mampostería de ladrillo macizo y en las ciudades del interior y zonas rurales podemos encontrar viviendas con estructuras de tapia, bahareque y en menores cantidades de adobe, piedra, madera y bambú. Otra tipología se ha definido para viviendas precarias con materiales como latón, láminas de zinc, cartón y similares.

Tabla 5. Tipologías Estructurales de Vivienda Popular en Venezuela.

Foto	Ilustración	Descripción
		<p>Estructura de mampostería confinada con miembros o elementos de concreto, también pueden ser confinadas con perfiles de acero. Normalmente de buena calidad constructiva (Foto e ilustración tomadas de López <i>et al.</i>, 2014)</p>
		<p>Estructura de mampostería no confinada o mixta de mampostería y miembros o elementos de concreto de baja calidad constructiva. Vivienda popular construida sin lineamientos normativos principalmente en las ciudades (Foto e ilustración V. Páez).</p>
		<p>Estructura de bahareque a base de madera o bambú y mortero a base de tierra o suelo-cemento. Vivienda popular construida sin lineamientos normativos principalmente en las zonas rurales (Foto tomada de López <i>et al.</i> 2014, ilustración tomada de la WHE del EERI).</p>

2.2 Tipologías Estructurales Básicas

Se han identificado y definido 22 tipologías estructurales básicas para clasificar los edificios de vivienda en Venezuela (Tabla 3), las cuales se han codificado con base a la Taxonomía GEM (Brzev *et al.* 2013). Se han tomado en consideración las tipologías previamente identificadas en Safina (2005), JICA (2005), López *et al.*, (2014), López, Coronel y Rojas (2014), así como las planteados por Yepes-Estrada *et al.* (2015). De las 22 tipologías básicas se proponen 6 de concreto reforzado, 4 de acero, 6 de mampostería, 4 de madera (incluye bahareque y bambú), 1 de tierra (tapia) y 1 para estructuras con otros materiales precarios o desconocidos.

2.3 Tipologías Estructurales Detalladas

A partir de las 22 tipologías estructurales básicas de la Tabla 3 se definen las tipologías estructurales detalladas incorporando el año de construcción o nivel de diseño, el número de pisos, la pendiente del terreno y los efectos de sitio de acuerdo a la escala de evaluación a utilizar (Tabla 4). El año de construcción asociado a la norma y/o nivel de diseño sismorresistente pueden utilizarse para definir la ductilidad o no de las tipologías de los edificios formales, lo cual se representa mediante la Taxonomía GEM (Brzev *et al.* 2013) como +DUC para tipologías dúctiles y +DNO tipologías no dúctiles o frágiles. Estas características son añadidas al código de cada tipología detallada.

Tabla 6. Descripción de las Tipologías Estructurales Básicas para Venezuela.

No.	Taxonomía GEM	Descripción de la Tipología
1	CR/LFM	Pórtico de concreto reforzado resistente a momento
2	CR/LFINF	Pórtico de concreto reforzado resistente a momento con paredes de relleno
3	CR/LFLS	Estructura de columnas de CR sin vigas altas en una o dos direcciones
4	CR/LFLSLINF	Estructura de columnas de CR sin vigas altas en una o dos direcciones con paredes
5	CR/LWAL	Muros de concreto reforzado
6	CR+PC/LWAL	Muros prefabricados de concreto reforzado
7	S+SR/LFM	Pórtico de acero con perfiles tipo H
8	S+SL/LFM	Pórtico de acero con perfiles tubulares conformados en frío
9	S/LFBR	Pórticos de acero arriostrados o diagonalizados (perfiles tipo H o tubulares)
10	S/LO	Pórticos de acero con cerchas
11	MCF/LWAL	Muros de mampostería confinada
12	MUR+CLBRS	Muros de mampostería no confinada de ladrillo sólido (vivienda colonial)
13	MUR+ADO	Muros de mampostería no confinada con bloques de adobe
14	MUR+CLBRH	Muros de mampostería no confinada ni reforzada de bloque hueco (vivienda popular)
15	MUR+CLBRH/LH	Mixta de mampostería de bloque hueco y pórticos de baja calidad (vivienda popular)
16	MUR+STRUB	Muros de piedra semi-labrada o natural
17	W+WWD	Estructura de madera y tierra o mortero (Bahareque)
18	W+WLI	Estructura de madera con elementos livianos (madera aserrada)
19	W+WHE	Estructura de madera con elementos pesados (troncos)

20	W+WBB	Estructura de madera con elemento de bambú
21	ER+ETR	Muros de tierra apisonada (Tapia)
22	MATO-UNK	Otros materiales precarios (láminas de zinc, cartón o similares) o desconocidos

Tabla 7. Características detalladas para clasificar las tipologías de edificaciones.

Característica	Tipo de Edificación	Escala de Evaluación		
		Nacional	Ciudad	Local
Año de construcción (asociado a la norma y al nivel de diseño)	Edificio (Formal)	Antes 1982 Después 1982	Antes de 1967 1968-1982 Después de 1982	Antes de 1939 1940-1947 1948-1955 1956-1967 1968-1982 1983-1998 1999-2001 Después de 2001
Número de pisos	Formal	1-3 4-7 +8	1-3 4-7 8-15 16-29 +30	Exacto
	Popular	1 +2	1 1-2 +3	
Pendiente del Terreno	Casa (Popular)	-	0° - 20° +20°	0° - 20° 20° - 45° +45°
Efectos de Sitio	Edificio	-	Norma o Microzonificación Sísmica	

3. ESTIMACIÓN DE EDIFICACIONES POR TIPOLOGÍA

3.1 Metodología basada en Datos del Censo y una Encuesta de Opinión

Se presenta un procedimiento que permite obtener de forma aproximada la distribución de tipologías estructurales a partir de la información estadística del Censo de Población y Vivienda (INE, 2011) y la opinión de expertos teniendo en cuenta el carácter subjetivo y las incertidumbres propias de este tipo de métodos. Estudios similares se han realizado en diferentes países de Suramérica en el marco del Proyecto SARA, donde se realizaron encuestas a expertos locales con la finalidad de estimar distribuciones de las tipologías estructurales partiendo de la información publicada por los institutos de estadísticas de cada país (Yepes-Estrada *et al.*, 2015). La encuesta elaborada permite relacionar tres variables del censo (tipo de vivienda, material de pared y material de piso) con las tipologías estructurales básicas más probables. La Figura 3 presenta un ejemplo de la encuesta en la cual se ha llenado la distribución porcentual de cada tipología de manera que por cada material de piso (columna) se distribuye el 100%. Este procedimiento puede ser aplicado a escala Nacional o en Ciudades donde no se hayan realizado estudios más detallados.

TIPO DE VIVIENDA	MATERIAL PREDOMINANTE EN LAS PAREDES EXTERIORES	Tipología (Taxonomía GEM)	MATERIAL PREDOMINANTE EN EL PISO		
			Mármol, granito, cerámica, terracota y similares	Cemento	Tierra
RANCHO					
RANCHO	8. Tapia o bahareque sin frisar	ER+ETR	-	30%	25%
		W+WWD	-	25%	16%
	9. Troncos	W+W/E	-	5%	3%
	10. Piedra	MUR+STRUB	-	5%	3%
	11. Palma o similares	W+WBB	-	5%	3%
	12. Materiales precarios (láminas de zinc, cartón o similares)	MATO-UNK	-	30%	50%
		TOTAL	0	100%	100%
CASA					
CASA	1. Bloque, ladrillo o adobe frisado (acabado) 2. Bloque, ladrillo o adobe sin frisar (no acabado) 3. Ladrillo, adobe sin frisar (obra limpia)	CR/LFM+DNO	2%		
		CR/LFM+DUC	1%		
		CR/LFINF+DNO	9%	5%	
		CR/LFINF+DUC	3%	1%	
		CR/LFLS+DNO	2%		
		CR/LFLS+DUC	1%		
		CR/LFLSLINF+DNO	4%	2%	
		CR/LFLSLINF+DUC	2%	1%	
		S+SR/LFM	1%	1%	
		S+SL/LFM	2%	1%	
		S/LFBR			
		MCF/LWAL	6%	4%	
		MUR+CLBRS	4%	3%	5%
		MUR+ADO	3%	2%	40%
		MUR+CLBRH	25%	35%	35%
MUR+CLBRHLH	35%	45%	20%		
		TOTAL	100%	100%	100%

Figura 6. Ejemplo de un Extracto de la Encuesta de Opinión de este Trabajo sobre la Distribución de Tipologías en Venezuela asociado a los Atributos del Censo INE.

3.2 Metodología basada en Zonas Homogéneas y un Muestreo Mediante Inspecciones

Se propone una metodología para ser aplicada en ciudades que parte de la definición de zonas homogéneas asociadas a la información del Censo del INE (2011) con base en imágenes satelitales. Se propone identificar: el Tipo de Zona definido según el INE (2011) como Urbana o Rural; el Tipo de Área definida mediante tres categorías según el INE como: 1) Urbanización; 2) Casco Central o 3) Barrio; y el Tipo de Vivienda o Edificación del INE que ha sido agrupado en: 1) Casa; 2) Quinta; 3) Edificio; o 4) Rancho. Estas características se han codificado para identificar el tipo de zona homogénea como se indica en la Tabla 5. Luego de identificar las zonas homogéneas se realiza un muestreo de las tipologías estructurales ahí existentes mediante inspecciones rápidas. A partir de la distribución porcentual de tipologías en la muestra se extrapola al total dentro de cada zona homogénea y a otras zonas con las mismas características en las cuales no se hayan hecho inspecciones.

Tabla 8. Clasificación de zonas homogéneas de Uso Residencial en Venezuela.

Zona	Tipo de Área	Tipo de Edificación (Tipo de Vivienda)	Densidad	Identificación
Urbana (24)	Urbanización (9)	Casa (Casa y Casa-vecindad)	Baja	UR-CA-B
			Media	UR-CA-M
			Alta	UR-CA-A

		Quinta (Quita y Casa-quinta)	Baja	UR-CQ-B
			Media	UR-CQ-M
			Alta	UR-CQ-A
		Edificio (Apartamento en Edificio)	Baja	UR-ED-B
			Media	UR-ED-M
			Alta	UR-ED-A
	Casco Central (9)	Casa (Casa y Casa-vecindad)	Baja	CC-CA-B
			Media	CC-CA-M
			Alta	CC-CA-A
		Quinta (Quita y Casa-quinta)	Baja	CC-CQ-B
			Media	CC-CQ-M
			Alta	CC-CQ-A
		Edificio (Apartamento en Edificio)	Baja	CC-ED-B
			Media	CC-ED-M
			Alta	CC-ED-A
Barrio (6)	Casa (Casa-vecindad)	Baja	BA-CA-B	
		Media	BA-CA-M	
		Alta	BA-CA-A	
	Rancho	Baja	BA-RA-B	
		Media	BA-RA-M	
		Alta	BA-RA-A	
Rural (5)	-	Casa (Casa y Casa vecindad)	-	RU-CA
		Quinta (Quita y Casa-quinta)	-	RU-CQ
		Rancho	-	RU-RA
		Rancho Campesino	-	RU-RC
		Vivienda Indígena	-	RU-VI

4. RESULTADOS PRELIMINARES

4.1 Datos del Censo de Población y Vivienda (INE, 2011)

En Venezuela se registraron 6.914.289 unidades de vivienda en el Censo del INE (2011), de las cuales 760.782 (11%) se encuentran el Área Metropolitana de Caracas (AMC). En ambos casos predomina el Tipo de Vivienda “Casas” con 74% y 55% respectivamente (Figura 3 y 4). Estas viviendas corresponden a un número menor de edificaciones, el cual aún es incierto dado que esa información estadística no es pública. Se ha realizado una aproximación preliminar con base a estadísticas de inspecciones y propuestas internacionales para la región (Yepes-Estrada *et al.*, 2015). Para toda Venezuela se ha supuesto que existen en promedio 16 apartamentos por Edificio y 1,25 unidades de vivienda por cada Casa, mientras que para el AMC, a partir de una muestra de 1.141 inspecciones a Edificios de más de 4 pisos, se ha determinado un promedio de 29 apartamentos por Edificio y se ha supuesto 1,5 unidades de vivienda por cada Casa. Como resultado se puede observar en las Figuras 3 y 4 como cambia la distribución del Tipo de Vivienda Agrupado en comparación al Tipo de Edificación Estimado en este trabajo.

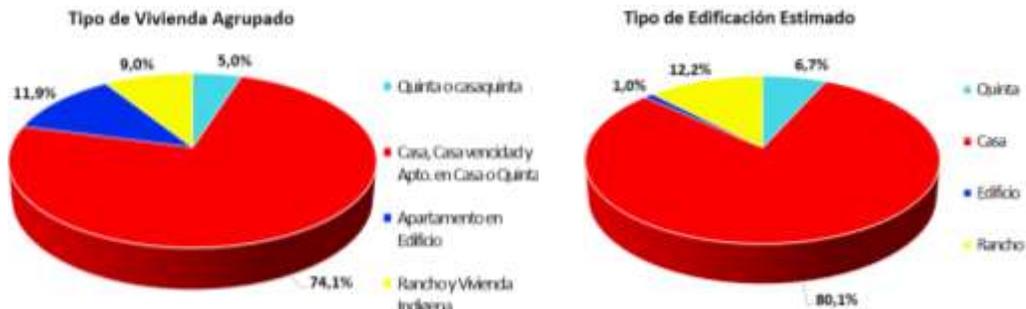


Figura 7. Datos del Censo para toda Venezuela. Fuente (INE, 2011).



Figura 8. Datos del Censo para el AMC. Fuente (INE, 2011).

4.2 Tipologías a partir de la Encuesta de Opinión

En la Figura 5 se presentan los resultados preliminares de la distribución de tipologías estructurales obtenida para Venezuela y el AMC con solo la opinión de los autores.

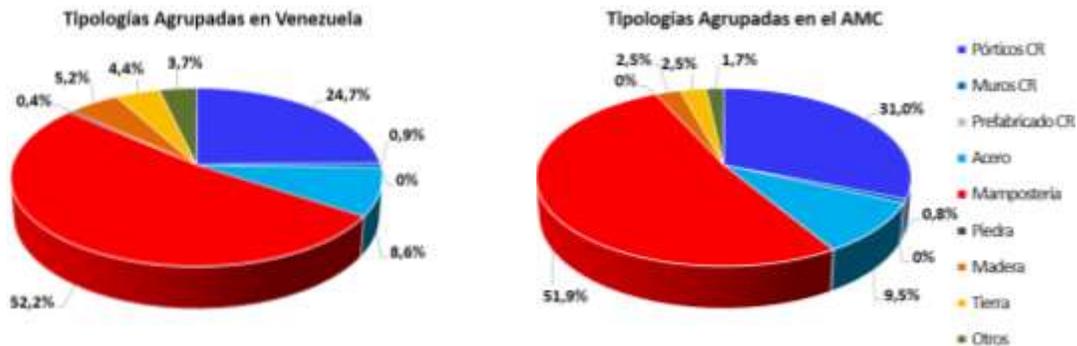


Figura 9. Resultado preliminar de este trabajo sobre la Distribución de Tipologías en Venezuela (izquierda) y el AMC (derecha) a partir de la Encuesta de Opinión.

De los resultados preliminares obtenidos se observa que predominan tanto para Venezuela como el AMC las tipologías de mampostería típicas de Casas (52,2% y 51,9% respectivamente), en segunda instancia los pórticos de concreto reforzado presentes en Casas, Quintas y Edificios, en mayor cantidad en el AMC (31,0%) que en todo el país (24,7%). En tercer lugar las tipologías de acero con 8,6% para Venezuela y 9,5% el AMC.

4.3 Tipologías a partir de Zonas Homogéneas e Inspecciones

Se presentan los resultados de la aplicación de esta metodología en el AMC, donde se han definido 820 zonas homogéneas asociadas con el Tipo de Vivienda o Edificación, de las

cuales en 138 zonas se realizó un muestreo de tipologías mediante inspecciones rápidas. En total se procesaron 2.585 inspecciones, 532 previas del proyecto SismoCaracas en Chacao y varios sectores populares y 2.053 nuevas en zonas urbanas (Figura 6).



Figura 10. Zonas Homogéneas e Inspecciones en el AMC. Elaboración Propia.

De aplicar esta metodología en el AMC se obtuvo el 9,6% de las edificaciones en zonas homogéneas de Edificios, 6,6% en Quintas y 84,0% en Casas y Ranchos. Al extrapolar la muestra resulta predominante un 60,5% de tipologías de mampostería (Figura 7).



Figura 11. Resultados preliminar de Distribución de Tipo de Edificación (izquierda) y Tipologías (derecha) a partir de Zonas Homogéneas e Inspecciones en el AMC.

4.4 Comparación de Resultados en el AMC

En la Tabla 6 se presenta una comparación de la distribución porcentual de tipologías obtenidas en el AMC con ambas metodologías propuestas. Se observa que los resultados agrupados por Tipo y Zona presentan buena similitud, sin embargo, al entrar a los detalles de cada tipología se encuentran importantes diferencias, tal como el caso de las estructuras de acero (S+SL/LFM) para la cual se obtiene mediante la encuesta un 5,8% y mediante las inspecciones un 1,9%, el caso de las viviendas populares mixtas (MUR+CLBRH/LH)

donde se obtuvo un 29,9% frente a un 47,0%, o el caso de las viviendas de tapia (ER+ETR) para el cual se obtiene un 2,5% mediante la encuesta y 0% en la muestra de inspecciones.

Tabla 9. Comparación de Resultados de Distribución de Tipologías en el AMC.

Tipo y Zona	Tipología	Encuesta		Inspecciones	
Edificios, Quintas y Casas en zonas Urbanas	CR/LFM	3,7%	41,3%	0,1%	37,2%
	CR/LFINF	14,3%		17,2%	
	CR/LFLS	3,6%		0,6%	
	CR/LFLSLINF	9,5%		14,8%	
	CR/LWAL	0,8%		0,8%	
	CR+PC/LWAL	0,0%		0,1%	
	S+SR/LFM	2,7%		1,1%	
	S+SL/LFM	5,8%		1,9%	
	S/LFBR	1,0%		0,5%	
	S/LO	0,0%		0,1%	
Casas en Zonas Urbanas, Barrios y Rurales	MCF/LWAL	8,9%	51,9%	5,1%	60,5%
	MUR+CLBRS	2,8%		0,2%	
	MUR+ADO	1,5%		0,0%	
	MUR+CLBRH	8,8%		8,1%	
	MUR+CLBRH/LH	29,9%		47,0%	
	MUR+STRUB	0,0%		0,0%	
Rancho y Vivienda Indígena en Barrios y Zonas Rurales	W+WWD	1,9%	6,8%	0,7%	2,3%
	W+WLI	0,3%		0,0%	
	W+WHE	0,0%		0,0%	
	W+WBB	0,4%		0,0%	
	ER+ETR	2,5%		0,0%	
	MATO-UNK	1,7%		1,7%	

5. CONCLUSIONES

Se proponen 22 tipologías estructurales básicas para clasificar las edificaciones de vivienda en Venezuela. Se indican las características a utilizar para clasificar las tipologías detalladamente de acuerdo a la escala de evaluación. Se proponen dos metodologías para la estimación de las edificaciones expuestas a los terremotos: una basada en los datos del Censo del INE (2011) y la opinión de expertos, y otra a partir de la definición de zonas homogéneas y el muestreo mediante inspecciones. La aplicación de estas metodologías resulta en una distribución porcentual de las tipologías en Venezuela y en el AMC en donde los resultados indican como predominante las estructuras de mampostería o viviendas populares seguidas de los pórticos de concreto reforzado. Estos resultados son un insumo esencial para la evaluación de la vulnerabilidad de estas tipologías y el riesgo sísmico.

6. AGRADECIMIENTOS

Al financiamiento del Convenio de Colaboración GEM-FUNVISIS. A Jairo Valcárcel y Catalina Yepes-Estrada (SARA-GEM); Víctor Gonzales, Ana Cañizales, Rafael Cadenas y Niurka Cabrera del INE, a Humberto Rengel y Jonathan Pérez en la elaboración de mapas.

7. REFERENCIAS

Bendito, A. J., Rozelle, J., and Bausch, D. (2014) “Assessing Potential Earthquake Loss in Mérida State, Venezuela Using Hazus”. *International Journal of Disaster Risk Science* 5(3), 176-19. DOI 10.1007/s13753-014-0027-0.

BID (2015). Perfil de Riesgo de Desastres para Venezuela. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). División de Medioambiente Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres *Nota Técnica N° IDB-TN-831*. Junio 2015.

Brzev S., C. Scawthorn, A.W. Charleson, L. Allen, M. Greene, K. Jaiswal, V. Silva (2013). GEM Building Taxonomy Version 2.0. *GEM Technical Report* 2013-02.

Castillo, A. (2006). Seismic risk scenarios for buildings in Mérida, Venezuela. Detailed vulnerability assessment for non-engineered housing. *Doctoral diss., UPC*, Barcelona.

Coronel D. Gustavo y López. Oscar. 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.

Delgado, J. y Ortiz, S., 2002. Diagnóstico de la vulnerabilidad urbana. Franja urbanizada ubicada en la cuenca norte del río Guaire. *Informe ejecutivo, Proyecto Ávila*, 162 pp.

FUNVISIS (2009). Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto. *Proyecto FONACIT 200400738*. Disponible en <http://www.funvisis.gob.ve>

Grases, J., Malaver, A., Montes, L., Gonzales, M., Herrera, C., Acosta, L., Lugo, M., Madriz, J., Hernández, J., Vargas, R. (2004). Amenazas Naturales y Vulnerabilidad en Cumaná. *Boletín Técnico IMME*, Vol. 42, N. 3, pp 57-80.

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 de 2009. *Memorias*, 115 pp.

IMME, FUNVISIS y FEDE. (2011). Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela. *Informe Técnico Final*. Proyecto FONACIT 2005000188, Caracas, 05/12/2011.

INE (2011). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, Instituto Nacional Estadística (INE), disponible en <http://www.ine.gob.ve/> (acceso 17 Agosto 2015).

JICA (2005). Estudio sobre el plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela. *Informe Final*. Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA).

López O. A., Coronel D. G., Ascanio W., Rojas R., Páez V., Olbrich F., Rengel J. G. y González J. (2014). Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. *Informe Técnico FUNVISIS, FUN-002*, 2014.

López O. A., Coronel D. G., Rojas R. (2014). Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. *Revista de la Fac. de Ing. U.C.V.*, Vol. 29, N° 4, pp. 107-126.

Marinilli, A., Fernández, N., López O. A. y Coronel D., G. (2015). Inspección de Edificaciones Escolares en Áreas Sísmicas de Venezuela. *Revista de la Fac. de Ing. UCV*, Vol. 30, N° 1, 2015.

Safina S. (2005). Funciones de Vulnerabilidad para las Principales Categorías de Edificaciones de la Ciudad de Caracas. *Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas*, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción – Chile.

Safina S., López A., Luis A. Lirio B., Castillo L., Marval N., Gonzalez J. y Prieto J. (2009). Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en el Municipio Chacao, Área Metropolitana de Caracas. *Informe Final. Proyecto IPCA-FUNVISIS*. Caracas.

Yepes-Estrada C., Silva V., Valcárcel J., Acevedo A., Tarque N., Hube M., Coronel G., Santa María H. (2015). Modelling the Residential Building Inventory in South America for Seismic Risk Assessment. *Earthquake Spectra*, under review.