

Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida. Estado Mérida-Venezuela

*Seismic vulnerability of population centers. Case study:
sector Pan de Azúcar, Mérida. Mérida State-Venezuela*

Montilla-Moreno Pedro José¹ y Castillo-Gandica Argimiro²

Recibido: marzo, 2011 / Aceptado: abril, 2012

Resumen

Los estudios de vulnerabilidad sísmica son determinantes en el análisis y manejo de riesgos en zonas pobladas. Su implementación permite la determinación y cuantificación de daños probables en las construcciones existentes, con miras a establecer políticas, planes y medidas que coadyuven a su control, prevención y mitigación y, en consecuencia, evitar o minimizar los posibles daños o pérdidas de vidas humanas, los daños materiales a las edificaciones y la afectación económica a la población. Este trabajo presenta el estudio de vulnerabilidad sísmica del sector Pan de Azúcar, importante centro poblado cercano a la ciudad de Mérida con grandes posibilidades de desarrollo urbanístico y poblacional, basado fundamentalmente en el análisis cualitativo de la tipología y técnica constructiva, calidad de materiales, detalles constructivos y previsiones de diseño ingenieril sismorresistente, realizado con fines de determinar el inventario de tipologías constructivas, su vulnerabilidad sísmica y potenciales niveles de daño ante los escenarios sísmicos probables en la zona de asentamiento. La clasificación de la vulnerabilidad y la estimación de los daños en las construcciones existentes se realizó con la aplicación de la Escala Macrosísmica Europea (EMS; ECGS). Se plantearon escenarios sísmicos probables en la zona de estudio, cuantificándose las edificaciones que potencialmente exhibirían daños moderados, severos o colapso para cada uno de ellos. Se determinó, para los escenarios más severos, altas concentraciones de edificaciones con tipologías muy vulnerables, especialmente de origen autóctono, con una alta probabilidad de resultar severamente dañadas o colapsadas. La metodología implementada es muy sencilla, versátil, económica y de práctica y efectiva aplicación.

Palabras clave: Centros poblados; vulnerabilidad sísmica; clases de vulnerabilidad; tipología constructiva; escala macrosísmica; escenario sísmico.

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Estructuras, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: mpedro@ula.ve

2 Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Departamento de Tecnología y Diseño, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: argicast@ula.ve

Abstract

The seismic vulnerability studies are decisive for the risk analysis and management in populated areas. Their implementation allows the identification and quantification of damages likely to occur in existing buildings in order to establish policies, plans and actions that contribute to their control, prevention and mitigation and, therefore, avoid or minimize any damage or loss of life, material damage to buildings and the economic impact to the population. This paper presents the study of seismic vulnerability of Pan de Azúcar area, an important village near the city of Merida with great potential for urban development and population, mainly based on qualitative analysis of the typology and construction techniques, material quality, building details and earthquake-resistant engineering design cautions. The study was carried out with the aim of determining the inventory of building typologies, their seismic vulnerability and potential levels of damage to the probable seismic scenarios in the settlement area. The classification of the vulnerability and the estimated damage to existing buildings was carried out with the implementation of the European Macroseismic Scale (EMS-98) (ECGS, 1998). Probable seismic scenarios were proposed in the study area, quantifying the buildings that would show potentially moderate damage, severe damage or collapse in each of them. It was determined, for the most severe scenarios, high concentrations of buildings with very vulnerable construction typology, especially of the area typical building, with a high probability of being severely damaged or collapsed. The methodology used is very simple, versatile, economical and of practical and effective application.

Key words: Populated areas; seismic vulnerability; vulnerability classes; building typology; macroseismic scale; seismic scenario.

1. Introducción

Los estudios de vulnerabilidad sísmica en zonas pobladas no fueron de interés para la humanidad hasta que ésta no estuvo consciente, por medio de la experiencia adquirida a través de los años, de la amenaza sísmica, entendida como la potencialidad de daño y peligrosidad que representan los sismos para el ser humano y su entorno; así como que la ocurrencia de eventos sísmicos es un fenómeno natural que no puede ser controlado por el hombre. Es a comienzos del siglo XX cuando la comunidad científica mundial da sus primeras iniciativas tendentes a la reducción del riesgo sísmico y a la implementación de estudios y propuestas para la mitigación de daños en escenarios de

eventos sísmicos. En esta iniciativa ha sido de vital importancia la recopilación de datos, observaciones de campo y experiencias adquiridas en zonas de desastres originados por eventos sísmicos. Todo con miras a la creación de una amplia base de datos que permita documentar el posible comportamiento de materiales y tipologías constructivas durante la ocurrencia de eventos sísmicos moderados a severos. En este sentido, los grandes centros urbanos mundiales, con reconocido riesgo sísmico, han acometido estudios de vulnerabilidad sísmica a gran escala, con la finalidad de cuantificar el nivel de daños sobre las edificaciones y pérdidas materiales como consecuencia de la ocurrencia de eventos sísmicos de magnitud considerable (Castillo *et al.*, 2000).

Los desarrollos urbanísticos en la mayoría de los países de la América Latina han sido ejecutados en forma precaria, con escasa planificación dentro de lo que se entiende como estrategia y planificación urbana local y regional, donde se atiende, además de las necesidades de vivienda y ambiente adecuado para una determinada población, los requerimientos, especificaciones técnicas y lineamientos relacionados con la seguridad de la vida de las personas y de sus bienes materiales. Las pérdidas de vidas humanas y materiales que han generado eventos sísmicos de magnitud moderada a severa, a través de los años, han sido incalculables y recurrentes para la humanidad. Esto es un escenario bastante crítico, ya que cerca de un 70% de la población mundial está localizada en zonas cuyo riesgo sísmico oscila entre moderado y alto. Tal situación determina que sea exigente y casi urgente la evaluación de las condiciones de riesgo sísmico y vulnerabilidad estructural de centros poblados a los fines de conocer su susceptibilidad al daño por acción sísmica, y poder estimar la potencialidad de los daños y pérdidas de vidas humanas y materiales, así como su impacto socioeconómico en la población afectada y en el entorno inmediato (Lennis, 1980). Al mismo tiempo, la realización de estos estudios, sus resultados y análisis, son muy importantes por su carácter orientador para la toma de decisiones en el proceso de elaboración de los planes de creación, desarrollo y consolidación de áreas urbanas presentes y futuras.

La experiencia acumulada hasta el presente, basada en el comportamiento y daños de edificaciones, ingenieriles o no, nos indica que sismos moderados a severos han provocado innumerables pérdidas de vidas humanas y gran cantidad de daños materiales a causa, fundamentalmente, de la no aplicación de las medidas y previsiones sismorresistentes mínimas, en cuanto a configuración arquitectónica, materiales utilizados y detallado y colocación del acero de refuerzo en elementos estructurales de concreto armado; así como del desconocimiento sobre el comportamiento de tipologías constructivas conocidas y de movimiento o remoción de masas de suelo, tales como taludes de tierra, rellenos y suelos con alto índice de compresibilidad y/o plasticidad, etc.

En el caso particular de la población de Pan de Azúcar, al igual que en el resto de Venezuela y de la mayoría de centros poblados de Latinoamérica, el desarrollo poblacional y habitacional obedece más a directrices de tipo socioeconómico que a requerimientos técnicos, por esta razón, la gama de materiales y tipologías constructivas es muy variada, donde es muy común las configuraciones estructurales combinadas de dos o más tipologías, en las cuales siempre está presente alguna con mayor vulnerabilidad que la otra, poniendo en alto riesgo la integridad de la edificación. El estudio de vulnerabilidad sísmica de la población de Pan de Azúcar se basa fundamentalmente en el análisis específico de la tipología constructiva, técnica de construcción utilizada, antecedentes sobre comportamiento sísmico,

calidad de materiales y de los detalles constructivos, y nivel de diseño de la edificación. La totalidad de las edificaciones han sido agrupadas, de acuerdo a su tipología constructiva y grado de vulnerabilidad, conformando una clasificación estructural consistente en nueve (09) tipos de construcción, definidos y descritos posteriormente en este trabajo en la sección de inventario general de edificaciones existentes en la zona.

2. Área de estudio: Ubicación geográfica, topografía, relieve, geología y sismicidad

El área objeto de estudio se encuentra ubicada en la región de los Andes venezolanos, en la vía que une a la ciudad de Mérida con la población de Ejido (Figuras 1 y 2). Tiene una extensión aproximada de 4 km² y limita al Norte con la carretera Panamericana, al Sur con la ca-

rrretera que une a Mérida con la población de Ejido, al Este con el río Albarregas y la urbanización Alma Mater, y al Oeste con el barrio Manzano Alto. Se localiza geoastronómicamente dentro de las coordenadas UTM: N255500 - N256400 y E947400 - E947100.

El relieve topográfico del área se presenta bastante irregular en toda su extensión. Predominan las colinas, de cumbres redondeadas y vertientes convexas, alineadas en dirección NE-SW y separadas por valles entallados (Figura 2). Este relieve ha sido el resultado de procesos erosivos y de remoción de masas tanto antiguos como recientes, que han configurado la morfología de la zona. Las elevaciones varían entre 1.200 msnm y 2.000 msnm.

Topográficamente, el sector se caracteriza por presentar dos zonas claramente definidas. La primera situada en la parte sur del barrio en contacto con la vía entre la ciudad de Mérida y Ejido,

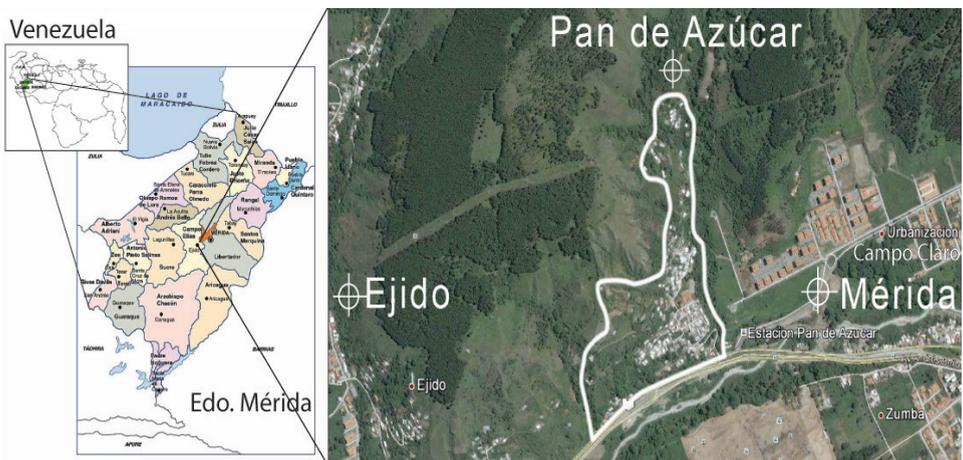


Figura 1. Localización geográfica zona de estudio. Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Imagen satelital del sector Pan de Azúcar. Fuente: Google Earth 2011

la cual presenta una topografía relativamente plana con pendientes entre 4% y 8%. Corresponde a la cota más baja y forma parte de la terraza de Mérida. La segunda, se encuentra localizada hacia la parte Norte y presenta una topografía muy irregular, con pendientes superiores al 30 %. Sobre esta zona se encuentran ubicados los puntos más elevados y es donde se localiza la mayor densidad de población (Figura 2).

En la región de Mérida-Ejido afloran rocas correspondientes a unidades litológicas de edades Precámbrico, Paleozoico, Jurásico, Cretáceo, Terciario y Cuaternario. El Paleozoico Superior aflora ampliamente en la región. Podemos distinguir una secuencia metamórfica, la cual está

representada por las asociaciones Tostós y Mucuchachí. El conjunto presenta un metamorfismo variable entre la facies de los esquistos verdes y la anfibolita estaurolítica. Se compone fundamentalmente de pizarras y filitas para la Asociación Mucuchachí y esquistos estaurolíticos y anfibolíticos. Afloran muy bien en la carretera Mérida-Estanques y hacia el sector Pueblo Nuevo (Montilla *et al.*, 2002). En los alrededores de Mérida aflora una serie de filitas verdosas, micáceas y calizas en capas delgadas. Los aluviones y coluviones son sedimentos recientes depositados por el arrastre de los cuerpos de agua de la zona, dispuestos generalmente en forma caótica, como se puede observar en muchos sitios de la zona.

La población de Pan de Azúcar se encuentra asentada en la cordillera de los Andes venezolanos, región de alto potencial sísmico, en la cual se encuentra uno de los sistemas de fallas geológicas más importantes del país, como lo es el sistema de fallas de Boconó. Así mismo, la región y sus alrededores poseen un subsistema de fallas locales, activas a medianamente activas, que la convierten en una zona sismogénica, cuya amenaza sísmica es de magnitud considerable. Históricamente, la región de los Andes ha experimentado algunos sismos con niveles de daños sobre edificaciones e infraestructura urbanística y efectos sobre la población que pueden ser considerados como destructores (Cluff y Hansen, 1969; Grases, 1980).

La ciudad de Mérida y sus centros urbanos satélites, tales como la Parroquia y Ejido, así como muchas otras ciudades del occidente de Venezuela, se encuentran ubicadas sobre una zona de fallas constituida por la traza principal de la falla de Boconó y otras fallas menores. La traza principal de la falla de Boconó se extiende con dirección noreste desde el sur del estado Táchira hasta la costa venezolana en el mar Caribe, atravesando longitudinalmente la cordillera de Los Andes venezolanos a lo largo de una distancia que supera los 500 km. La traza principal de la falla de Boconó, junto a otras fallas geológicas menores, constituye un sistema de fallas que define una franja geográfica de alta sismicidad de más de 1.000 km. de longitud, en la que habita cerca del 80 % de la población venezolana, y donde se encuentran

ciudades como San Cristóbal, La Grita, Mérida, Barquisimeto, Caracas, Cumaná, y otras, además de decenas de poblados importantes y aldeas campesinas (Grases, 1980; Montilla *et al.*, 2002).

Estudios científicos realizados sobre la sismicidad histórica de la región, permiten concluir que la magnitud máxima esperada para el evento sísmico más devastador en el área de estudio es de 7,2 en la escala de Richter (1958), lo que coincide con la magnitud máxima estimada para el evento más destructor experimentado sobre la traza principal de la falla de Boconó: el Gran Terremoto de Los Andes, de fecha 28 de abril de 1894 (Centeno, 1968). Asimismo, de este evento sísmico se infiere que la máxima intensidad probable en la zona estaría por el orden de IX en la escala de Mercalli modificada. Las aceleraciones sísmicas para los valores de intensidades estimados oscilan entre 0,28 g para la intensidad más probable, y 0,40 g para la intensidad máxima probable (Montilla *et al.*, 2002). La Norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistentes, COVENIN 1756-2001-1 (COVENIN, 2001), recomienda una aceleración de diseño para esta zona de 0,30 g (Zona 5 del Mapa de Microzonificación Sísmica de Venezuela).

3. Metodología

3.1 Inspección general preliminar de edificaciones existentes en la zona

Esta etapa del estudio fue realizada en todo el sector de Pan de Azúcar con el

objetivo de recabar información de cada edificación relativa a las características de la estructura, las cuales son determinantes en su comportamiento dinámico ante la acción sísmica, producto de la ocurrencia de un terremoto de cierta importancia en la zona o sus adyacencias. La información recabada fue preparada y ordenada de manera de facilitar las labores de identificación y clasificación de los sistemas constructivos existentes, en función de su vulnerabilidad sísmica. En este sentido, las características evaluadas en la inspección ocular fueron: (i) Tipología de construcción (relativa a materiales y técnicas constructivas); (ii) configuración estructural (sistema sísmorresistente); y (iii) tipo de entrepiso y/o de cubierta de techo (rigidez del entrepiso y densidad del material). Así mismo, se incluyó en el registro de datos de las construcciones existentes, su ubicación topográfica (pendientes, desniveles y taludes cercanos) y el suelo soportante que la rodea. Esta fase del estudio sirvió fundamentalmente para determinar las tipologías constructivas existentes en la zona.

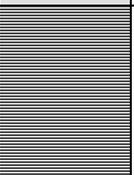
3.2 Tipologías constructivas y configuraciones estructurales

La tipología constructiva y la configuración estructural fueron evaluadas en sitio y para cada construcción existente en el área de estudio. Una vez realizado el inventario, se procedió a definir las diferentes tipologías constructivas y configuraciones estructurales representativas de

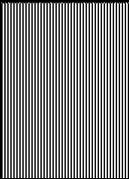
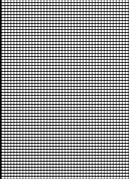
las construcciones existentes en la zona. A cada tipología estructural, de acuerdo a su grado de vulnerabilidad, le fue asignado un color o trama representativa (Cuadro 1). Otro aspecto importante fue la determinación de la altura de la edificación expresada en número de niveles o entrepisos, los cuales pueden ser apreciados en el Mapa de Tipología de Construcción en atención al convenio de colores y señalización establecido en el cuadro 1 (Figura 3). De esta forma, a aquellas construcciones de dos o más niveles se les asignó el color o trama y el número identificativo correspondiente a cada nivel, siendo presentadas con una o más líneas diagonales divisorias, cuyos sectores fueron distinguidos con la tipología constructiva correspondiente, de acuerdo a lo establecido en el cuadro 1. Por ejemplo, para el caso de edificaciones de tres niveles y diferentes tipologías constructivas, se dividió el espacio en planta de la construcción en tres segmentos y se señalaron según la tipología presente en cada nivel de la edificación (Figura 3).

Las diferentes tipologías, en función de la experiencia y lecciones aprendidas de sismos documentados, fueron ordenadas de manera descendente, según su grado de vulnerabilidad sísmica, asignándoles un color o trama representativa del grado de vulnerabilidad, desde la de mayor grado de vulnerabilidad (Tipo I – color negro) hasta la de menor grado (Tipo IX – trama cuadrículada densa). En total se identificaron nueve (9) tipologías constructivas en las edificaciones existentes en la zona (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipología de construcción – sector Pan de Azúcar

Tipo	Tipología Construcción	Sistema Estructural	Tipo de Techo y/o Entrepiso	Color Tipología	Detalle
I	TRADICIONAL (TIPICA-ADOBE)	ADOBE	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		
II	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	BLOQUE TRABADO	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		
III	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	MACHONES	Losa de Concreto y Tabelones y/o Cubierta Pesada de Tejas		
IV	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	MACHONES	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		
V	ARTESANAL (RANCHO)	SIN ESTRUCTURA O ESTRUCTURA INFORMAL DE MADERA Y/O METAL	Cubierta y paredes de material liviano		
VI	TRADICIONAL (BAHAREQUE)	BAHAREQUE	Cubierta liviana de tejas y/o lámina metálica o de asbesto		
VII	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO	Losa de Concreto y Tabelones o Losa Maciza Concreto		

Cuadro 1. Continuación

Tipo	Tipología Construcción	Sistema Estructural	Tipo de Techo y/o Entrepiso	Color Tipología	Detalle
VIII	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	VIGAS Y COLUMNAS DE ACERO	Losa de Concreto y Tabelones		
IX	DISEÑO INGENIERIL	ESTRUCTURA APORTICADA	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		
TIPOLOGÍA ÚNICA: 			TIPOLOGÍA COMBINADA: Nivel Inf.  Nivel Sup.		

3.3 Inventario general de edificaciones existentes en la zona

Los resultados del inventario de edificaciones clasificadas por tipología constructiva en el área objeto de estudio se presentan en el cuadro 2, en el cual se establecen los porcentajes por tipología de construcción y en el mapa de tipologías constructivas (Figura 3). De este inventario se desprende que existen en la zona de estudio un total de 347 construcciones, discriminadas en los nueve (9) grupos establecidos para la clasificación por tipología estructural.

Asimismo, puede evidenciarse que existe cierta paridad entre las cantidades de las tipologías predominantes, a saber: Tipo II = 91 edificaciones; Tipo IV = 91

edificaciones y Tipo VII = 86 edificaciones. Es importante resaltar además, la gran cantidad de edificaciones constituidas por viviendas construidas en su totalidad con tipologías II (bloque trabado) y IV (machones), las cuales representan un 52,44 % del total de las construcciones de la zona.

Conocida la fragilidad y la debilidad del bloque de arcilla elaborado en Venezuela, así como que estas tipologías son de las más vulnerables en zonas sísmicas debido a su pésimo comportamiento ante la acción de eventos sísmicos correspondientes a aceleraciones máximas esperadas en el terreno (Ferrer y Laffaille, 2004), es muy probable esperar que el daño ocasionado a estas construcciones durante la ocurrencia de un evento sísmi-

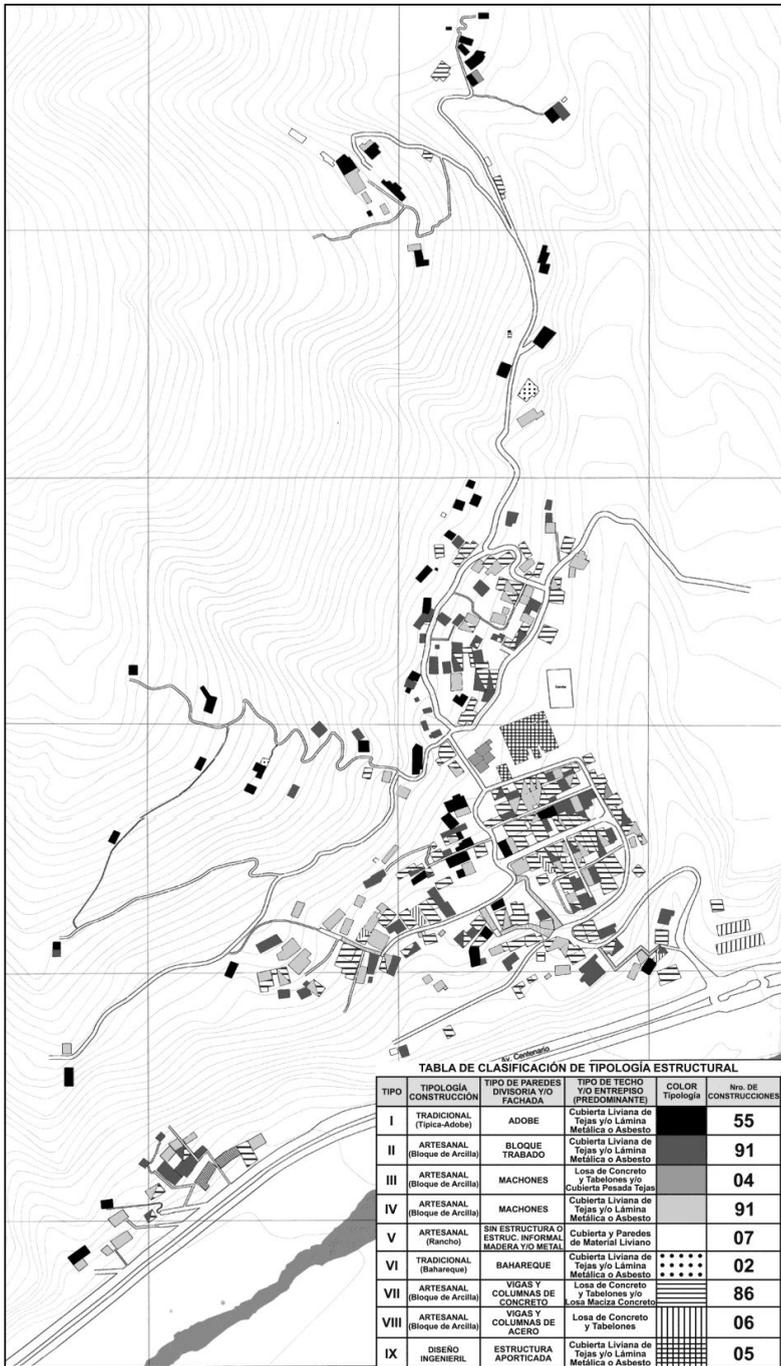


Figura 3. Mapa de Tipologías constructivas en el sector Pan de Azúcar

Cuadro 2. Clasificación e inventario de las edificaciones por tipología de construcción

Tipo	Tipología Construcción	Configuración o Sistema Estructural	Tipo de Techo y/o Entrepiso (Predominante)	Color Tipología	Nº de Edificaciones	Porcentaje Población %
I	TRADICIONAL (TÍPICA ADOBE)	ADOBE	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		55	15,85
II	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	BLOQUE TRABADO	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		91	26,22
III	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	MACHONES	Losa de Concreto y Tabelones y/o Cubierta Pesada de Tejas.		04	1,15
IV	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	MACHONES	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		91	26,22
V	ARTESANAL (RANCHO)	SIN ESTRUCTURA INFORMAL DE MADERA Y/O METAL	Cubierta y paredes de material liviano		07	2,02
VI	TRADICIONAL (BAHAREQUE)	BAHAREQUE	Cubierta liviana de tejas y/o lámina metálica o de asbesto		02	0,58
VII	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO	Losa de Concreto y Tabelones o Losa Maciza Concreto		86	24,78
VIII	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	VIGAS Y COLUMNAS DE ACERO	Losa de Concreto y Tabelones		06	1,73
IX	DISEÑO INGENIERIL	ESTRUCTURA APORTICADA	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		05	1,44

co de características moderadas a severas sea bastante elevado y extenso.

Del total de edificaciones existentes, 275 corresponden a construcciones de un solo nivel y tipología uniforme, 15 a construcciones de dos niveles y tipología uniforme, 7 a construcciones de tres niveles y tipología uniforme, 47 a edificaciones de dos niveles y tipología mixta o combinada y 3 edificaciones de tres niveles y

tipología mixta o combinada. Todas las edificaciones de dos niveles con tipología constructiva mixta o combinada tienen la tipología VII en la planta baja, mientras que todas las edificaciones de tres niveles con tipología mixta o combinada, tienen los dos primeros niveles con tipología VII (artesanal vigas y columnas de concreto armado).

3.4 Clases de vulnerabilidad e inventario de edificaciones por clase

La clasificación de vulnerabilidad sísmica de las construcciones existentes se fundamentó en la aplicación de la moderna Escala Macrosísmica Europea de Intensidades (EMS-98), (ECGS, 1998). Esta escala es una revisión actualizada, más completa y detallada de las escalas sísmicas más usadas; en la actualidad es ampliamente aceptada y utilizada en toda Europa y demás países de influencia (Lamadrid, 2008). Se decidió aplicar esta escala en el presente trabajo debido a que en ella, a diferencia de las otras escalas conocidas, se da un tratamiento más explícito y detallado a la vulnerabilidad, estructuración y tipología constructiva de las edificaciones. Esta escala, al igual que las otras basadas en la escala de Intensidades Sísmicas de Mercalli Modificada, establece una clasificación de doce (12) grados de intensidad y una discriminación de la vulnerabilidad de las edificaciones consistente de seis (6) clases; desde la mayor vulnerabilidad, establecida como Clase A, hasta la menor vulnerabilidad, la Clase F. Esta clasificación, a los fines de que fuese aplicable al medio geográfico en estudio, fue adaptada con la intención de incorporar las diferentes tipologías existentes en el área de interés, resultando en cuatro (4) clases de vulnerabilidad, desde la Clase A hasta la Clase D (Cuadro 3).

La adaptación de la escala EMS-98 se logró con base en la experiencia práctica profesional y en la experiencia adquirida sobre la observación en zonas o escena-

rios de desastres por eventos sísmicos, y en los conocimientos adquiridos en el campo de la investigación sobre esta materia. Esto último es de vital importancia para la implementación de metodologías que han sido desarrolladas en ambientes diferentes al que se estudia. El cuadro 3 muestra la clasificación de la vulnerabilidad sísmica adaptada al área de estudio y el inventario de las edificaciones por clase de vulnerabilidad. Como criterio para establecer la vulnerabilidad sísmica de una edificación de dos o más niveles, con combinación de tipologías constructivas o niveles con diferentes tipologías constructivas, se decidió considerar la condición más crítica y más desfavorable para la edificación, es decir, se tomó como representativa a la tipología que tienda a experimentar el mayor daño y a generar el mayor riesgo sobre la edificación (Figura 4).

Resulta evidente que las clases de vulnerabilidad 'A' y 'C' concentran el mayor número de edificaciones, tal como se puede evidenciar en el cuadro de inventario de edificaciones por clase de vulnerabilidad. Un alto porcentaje del total de edificaciones, del orden del 42 %, se corresponde con la clase de vulnerabilidad 'A', es decir, con la clase de mayor vulnerabilidad estructural y riesgo sísmico. A esta condición estructural de dichas edificaciones, se le debe adicionar el efecto multiplicador y altamente perjudicial de factores naturales y/o provocados por el hombre, como son los efectos de la topografía (taludes verticales, deslizamientos, movimiento de masas, drenajes inadecuados, etc.), geológicos y sismológicos,

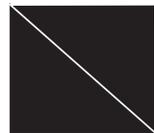
Cuadro 3. Clasificación de la vulnerabilidad sísmica basada en la EMS-98 e inventario por clase

CLASE Vulnerabilidad	Tipo	Tipología Construcción	Configuración o Sistema Estructural	Tipo de Techo y/o Entrepiso (Predominante)	Color Clase	Nº de Edificaciones (%)
A	I	TRADICIONAL (TIPICA ADOBE)	ADOBE	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o Asbesto		146 (42,07)
	II	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	BLOQUE TRABADO	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o Asbesto		
B	III	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	MACHONES	Losa de Concreto y Tabelones y/o Cubierta Pesada Tejas		04 (1,15)
C	IV	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	MACHONES	Cubierta Liviana de Tejas y/o Lámina Metálica o de Asbesto		186 (53,60)
	V	ARTESANAL (RANCHO)	SIN ESTRUCT O ESTRUCT INFORMAL MADERA Y/O METAL	Cubierta y paredes de material liviano		
	VI	TRADICIONAL (BAHAREQUE)	BAHAREQUE	Cubierta liviana de tejas y/o lámina metálica o de asbesto		
	VII	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO	Losa de Concreto y Tabelones o Losa Maciza Concreto		
D	VIII	ARTESANAL (Bloque de Arcilla)	VIGAS Y COLUMNAS DE ACERO	Losa de Concreto y Tabelones		11 (3,17)



Número de niveles: 2

Tipología Planta Baja (PB): Tipo VII



Clase de Vulnerabilidad: "A"

Figura 4. Construcción Mixta: Artesanal Concreto Armado (Planta Baja) y Artesanal de Bloque Trabado de Arcilla (Planta Alta) (Clase A). Simbología utilizada para Tipología Constructiva y Clase de Vulnerabilidad

que pueden causar que estos porcentajes se incrementen considerablemente, con consecuencias impredecibles para la seguridad y subsistencia de las personas y bienes materiales.

3.5 Escenarios de daños sísmicos y análisis

Los escenarios de daños considerados se tomaron con base en los diferentes niveles de intensidad sísmica que pueden tener ocurrencia en el área objeto de estudio, para lo cual se asumieron las intensidades en función de la sismicidad histórica y estudios sismológicos previos (Montilla *et al.*, 2002). En consecuencia, para el presente estudio se consideraron tres posibles escenarios sísmicos, a saber: (a) Sismo de Intensidad Sísmica de Ocurrencia Periódica o Sismo de Intensidad Sísmica Moderada (ISMO), (b) Sismo de Intensidad Sísmica Más Probable (ISMP) y (c) Sismo de Intensidad Sísmica Máxima Probable (ISXP). Las magnitudes e intensidades correspondientes fueron obtenidas a partir de la ecuación de relación entre intensidades y aceleraciones espectrales propuesta por Richter (1958), ecuación (1).

$$\log a = \frac{I}{3} - \frac{1}{2} \quad (1)$$

Donde I es la Intensidad Sísmica según la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada, y a es la aceleración máxima registrada en el terreno para cada nivel de intensidad sísmica, expresada en unidades de cm/seg^2 . Esta relación indica que una intensidad sísmica de XI corresponde a

aceleraciones del terreno del orden de los $1.468 \text{ cm}/\text{seg}^2$, aproximadamente $1,5g$, donde g es la aceleración de la gravedad en la superficie terrestre, cuyo valor es de $981 \text{ cm}/\text{seg}^2$; una intensidad de IX corresponde a una aceleración máxima de $0,7g$, y una intensidad de VII corresponde a una aceleración de $0,07g$. Igualmente existe una relación directa entre las aceleraciones máximas en el terreno y la magnitud sísmica, por lo que puede establecerse la relación entre intensidad y magnitud sísmica. Las relaciones entre rangos de Magnitud, en la escala de Richter, y la Intensidad Sísmica en la escala de Mercalli Modificada implícita en la EMS-98 (Bustamante *et al.*, 2007), se muestran en el cuadro 4.

Los niveles de intensidad y magnitud sísmica que se tomaron, de acuerdo con los datos de sismicidad histórica y registros instrumentales, fueron los siguientes: Una magnitud estimada de 4,0, correspondiente a una intensidad sísmica de IV, para el escenario sísmico moderado (ISMO); una magnitud de 6,4, correspondiente a una intensidad sísmica de VIII, para el escenario sísmico más probable (ISMP); y una magnitud de 7,2, correspondiente a una intensidad sísmica de IX, para el escenario sísmico máximo probable o más desfavorable en la zona de estudio (ISXP). La intensidad sísmica más probable se obtuvo asumiendo la ocurrencia de un evento sísmico con aceleración máxima esperada en el terreno igual a la aceleración de diseño de la zona, recomendada por la Norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistentes (COVENIN, 2001), cuyo valor

Cuadro 4. Relación entre Intensidad Mercalli Modificada y Magnitud Richter

Intensidad MM	Magnitud Richter	Característica
I	Hasta 2,5	Instrumental
II	De 2,5 a 3,1	Muy Débil
III	De 3,1 a 3,7	Ligero
IV	De 3,7 a 4,3	Moderado
V	De 4,3 a 4,9	Algo Fuerte
VI	De 4,9 a 5,5	Fuerte
VII	De 5,5 a 6,1	Muy Fuerte
VIII	De 6,1 a 6,7	Destruyivo
IX	De 6,7 a 7,3	Ruinoso
X	De 7,3 a 7,9	Desastroso
XI	De 7,9 a 8,4	Muy Desastroso
XII	De 8,4 a 9,0	Catastrófico

de la aceleración máxima esperada para la ciudad de Mérida y sus alrededores (Zona 5 del Mapa de Zonificación Sísmica de Venezuela), es de 30 % de g.

Considerando la baja calidad de los materiales de construcción, de detallado de los miembros estructurales y de la mano de obra, así como, las deficiencias importantes en la tecnología constructiva y configuración estructural de las edificaciones, se tomaron valores de términos de cantidad un tanto superiores, aumentados en un cinco por ciento (5%), a los recomendados por la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), (ECGS, 1998); por lo que los términos de cantidad para el presente estudio quedaron de la siguiente manera:

Algunas edificaciones... = 10% del Total de la Clase de Vulnerabilidad dada

Muchas edificaciones... = 55% del Total de la Clase de Vulnerabilidad dada

La mayoría de edificaciones.... = 80% del Total de la Clase de Vulnerabilidad dada

En función de los escenarios sísmicos planteados, sus efectos sobre las edificaciones existentes y los términos ya establecidos, se obtuvieron los resultados que se muestran en los cuadros 5 y 6, correspondientes a la cuantificación de construcciones afectadas por clase de vulnerabilidad y a cada Escenario Sísmico planteado. El Escenario de Intensidad Sísmica Moderada (ISMO) sólo ocasiona temblores leves, vibraciones y ruidos moderados, sin daños apreciables sobre las construcciones, por lo que no se muestran sus resultados. Los escenarios sísmicos más dañinos sobre las construcciones son los de intensidad mayor.

Al observar los resultados que se presentan en los cuadros 5 y 6, y dada la tipología de construcción característica de

Cuadro 5. Cuantificación de edificaciones dañadas por clase de vulnerabilidad y escenario sísmico

Clase de Vulnerabilidad	Valoración de Cantidad	Porcentaje de Edificaciones (%)	Grado de Daño	Descripción Daños	Cantidad de Edificaciones
A	<i>Algunas</i>	10	5	<i>Destrucción o Colapso</i>	15
	<i>Muchas</i>	55	4	<i>Muy Graves</i>	80
	<i>Las Demás</i>	35	3	<i>Importantes a Graves</i>	51
B	<i>Algunas</i>	10	4	<i>Muy Graves</i>	1
	<i>Muchas</i>	55	3	<i>Importantes a Graves</i>	2
	<i>Las Demás</i>	35	2	<i>Daños Moderados</i>	1
C	<i>Algunas</i>	10	3	<i>Importantes a Graves</i>	19
	<i>Muchas</i>	55	2	<i>Daños Moderados</i>	102
	<i>Las Demás</i>	35	1	<i>Daños Ligeros</i>	65
D	<i>Algunas</i>	10	2	<i>Daños Moderados</i>	1
	<i>Las Demás</i>	90	1	<i>Daños menores a Ligeros</i>	10

Cuadro 6. Cuantificación de edificaciones dañadas por clase de vulnerabilidad y escenario sísmico. Sismo máximo probable (ISXP) – intensidad IX

Clase de Vulnerabilidad	Valoración de Cantidad	Porcentaje de Edificaciones (%)	Grado de Daño	Descripción Daños	Cantidad de Edificaciones
	<i>Algunas</i>	---	---	---	---
	<i>Muchas</i>	55	5	<i>Destrucción o Colapso</i>	80
	<i>Las Demás</i>	45	4	<i>Muy Graves</i>	66
	<i>Algunas</i>	10	5	<i>Destrucción o Colapso</i>	1
	<i>Muchas</i>	55	4	<i>Muy Graves</i>	2
	<i>Las Demás</i>	35	3	<i>Importantes a Graves</i>	1
	<i>Algunas</i>	10	4	<i>Muy Graves</i>	19
	<i>Muchas</i>	55	3	<i>Importantes a Graves</i>	102
	<i>Las Demás</i>	35	2	<i>Daños Moderados</i>	65
	<i>Algunas</i>	10	3	<i>Importantes a Graves</i>	1
	<i>Muchas</i>	55	2	<i>Daños Moderados</i>	6
	<i>Las Demás</i>	35	1	<i>Daños Ligeros</i>	4

la clase de vulnerabilidad A, puede decirse que, en el escenario más probable, una gran cantidad de construcciones del sector Pan de Azúcar correspondientes a esta clase, tiene una alta probabilidad de experimentar serios daños durante la ocurrencia de un evento sísmico severo, que las llevarían al colapso total o a su destrucción; lo cual, dada su tipología estructural, significa prácticamente la desaparición de un porcentaje importante de construcciones del sector, correspondientes a esta clase de vulnerabilidad. Esto indica que aproximadamente 95 edificaciones, alrededor del 28 % de todas las construcciones del sector, tienen altas probabilidades de ser destruidas por causas de daños vinculados a la ocurrencia de eventos sísmicos severos. Igualmente, 72 edificaciones del total de construcciones del sector tendrán daños graves, lo que representa un 21 % de la población total.

Si se toma en cuenta que, dadas las características particulares de la tecnología y deficiencias constructivas aplicadas en la mayoría de ellas para las tipologías de construcción con clases de vulnerabilidad A y B, existe una alta probabilidad de que en las edificaciones donde se presenten daños graves estos sean irreparables, lo cual elevaría la cuantificación de edificaciones colapsadas y destruidas y/o no reparables, con daños graves, a aproximadamente un 49 % del total de la población. Esto, cuantitativamente hablando, representa un porcentaje muy alto del total de construcciones del urbanismo del sector. Una destrucción de viviendas de estas dimensiones represen-

taría una importante pérdida de recursos materiales y, potencialmente, de vidas humanas, de una magnitud incalculable e irre recuperable para la comunidad y su economía, especialmente, por tratarse de un sector poblacional con características socio-económicas de clase media baja a baja.

En el caso del Escenario Sísmico Máximo Probable (ISXP), el más desfavorable o catastrófico, la cuantificación de edificaciones afectadas, con daños muy graves a colapso, se ve incrementada sustancialmente, por lo que las expectativas son más críticas y desalentadoras.

4. Conclusiones y recomendaciones

La metodología cualitativa propuesta, empleada en el presente estudio, basada en la aplicación de la Escala Macrosísmica Europea de Intensidades (EMS-98), representa una técnica rápida, sencilla, versátil, económica y eficiente para realizar la evaluación, a gran escala, de la vulnerabilidad sísmica potencial de centros poblados ante la eventual ocurrencia de escenarios sísmicos moderados a severos, ya que está sustentada en la aplicación de una moderna Escala Macrosísmica que, a su vez, está fundamentada sobre la base de experiencias acumuladas y documentadas, observaciones y lecciones aprendidas a partir del comportamiento de las diferentes tipologías constructivas, y los daños ocasionados sobre ellas durante la ocurrencia de eventos sísmicos de diferentes magnitudes y potenciales de daños.

La estimación de la vulnerabilidad sísmica de centros poblados, con el uso de técnicas cualitativas, económicas, rápidas y sencillas de aplicar, permite identificar y cuantificar, de manera general y rápida, el impacto que producirían sismos de diferentes magnitudes sobre las construcciones típicas asentadas en el área de estudio.

La estimación de la vulnerabilidad sísmica con cierto margen de confiabilidad sobre la totalidad de la población de edificaciones existentes en un determinado centro poblado permite, con base en las observaciones y experiencias aprendidas a partir de sismos severos a destructores, generar criterios y políticas de desarrollo urbanístico y normativas de construcción tendentes a mitigar los daños sobre las construcciones futuras a desarrollarse en la zona.

Los resultados muestran que los daños que pudieran ocasionarse y/o esperarse sobre las edificaciones más numerosas de la zona de estudio, durante la ocurrencia de un evento sísmico con características moderadas a severas, y cuya tipología constructiva es altamente vulnerable, serían cuantiosos. Hecho resaltado por los elevados porcentajes obtenidos de edificaciones que colapsarían o serían seriamente dañadas durante los escenarios sísmicos más críticos. El impacto socioeconómico que esta situación representaría para una zona popular deprimida como ésta, es de pronóstico reservado, por no decir, catastrófico.

La gran mayoría de las tipologías constructivas existentes en el área de estudio son altamente vulnerables y por

ende, resultan muy riesgosas, comprometiendo seriamente la seguridad estructural de las edificaciones, y la supervivencia y resguardo de sus ocupantes y bienes materiales.

La combinación de tipologías constructivas con diferentes niveles de vulnerabilidad sísmica en una misma edificación, en la mayoría de los casos, provoca que los niveles de vulnerabilidad y riesgo sísmico en las edificaciones involucradas se incrementen considerablemente, comprometiendo seriamente la estabilidad estructural de la propia edificación y la seguridad de las personas y bienes que albergan.

Es recomendable que, a nivel institucional y gubernamental, los entes oficiales encargados de la permisología, supervisión y regulación de las construcciones por parte del estado impulsen las normativas técnicas y políticas de análisis, diseño y construcción tendentes a normar el uso de las tecnologías constructivas, especialmente aquellas cuyo uso involucra potencialmente altos niveles de vulnerabilidad y riesgo sísmico.

5. Referencias citadas

- BUSTAMANTE, R., CASTRO, C. y J. MÁRQUEZ. 2007. *Estudio de vulnerabilidad sísmica en las instituciones educativas de la zona rural norte del Municipio Sincelejo*. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Sucre, Sincelejo. Sucre-Colombia.
- CASTILLO, A., PUJADES, L. y F. LÓPEZ-ALMANSA. 2000. Seismic risk evaluation in

- Mérida, Venezuela. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE)*, Auckland, New Zealand (CD-ROM; paper No. 1.049).
- CENTENO GRAÜ, M. 1968. *Estudios sismológicos. Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, XXVIII (79). Caracas-Venezuela.
- CLUFF, L. & W. HANSEN. 1969. *Seismicity and seismic geology of northwestern Venezuela. Woodward-Clyde and Associates*. Informe para la Compañía Shell de Venezuela. Caracas-Venezuela.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). 2001. *Norma COVENIN 1756-2001-1, 1^a revisión, Edificaciones Sismorresistentes*. Caracas-Venezuela.
- EUROPEAN CENTER FOR GEODYNAMICS AND SEISMOLOGY (ECGS). 1998. **European Macroseismic Scale 1998, EMS-98**, G. Grünthal (Ed.). Luxembourg.
- FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 2004. *Una aproximación al estudio de niveles de susceptibilidad en un barrio ubicado en la ciudad de Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana*, 45(1): 11-34.
- GOOGLE EARTH. (On line). Disponible en: <http://www.google.com/intl/es/earth/index.htm>
- GRASES, J. 1980. *Investigación acerca de los sismos destructores que han afectado el centro y occidente de Venezuela*. Proyecto para el Instituto Venezolano de Estudios Petroleros, INTEVEP, S.A., Anexo Y. Caracas-Venezuela.
- LAMADRID T. y ASOCIATS CONSULTORS. 2008. *Plan especial de protección civil ante el riesgo sísmico de Extremadura*, PLASIS-MEX. Junta de Extremadura-España.
- LENNIS, G. 1980. *Earthquakes and the urban environment*. CRC Press, Inc. (Ed.). II. Boca Ratón, Florida-USA.
- MONTILLA, P. J.; LAFFAILLE, J.; CASTRILLO, J. T.; ODREMAN, O.; BONGIORNO, F. y G. VÍLCHEZ. 2002. *Habilitación física de la zona de barrios –Programa II: Evaluación de condiciones físicas y análisis de vulnerabilidad como base al establecimiento de niveles de susceptibilidad del sector Pan de Azúcar, Municipio Campo Elías del Estado Mérida*. Proyecto de la Unidad de Asesoría, Proyectos e Innovación Tecnológica, Universidad de Los Andes (UAPIT-ULA) para el Instituto de Infraestructura del Estado Mérida (INFRAM), Mérida-Venezuela. (Inédito).
- RICHTER, C. F. 1958. **Elementary Seismology**. W. H. Freeman and Co. (Ed.). San Francisco-USA.