

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS EDIFICIOS DEL CENTRO HISTÓRICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MEXICO

SEISMIC VULNERABILITY OF EXISTING BUILDINGS IN THE HISTORIC DOWNTOWN OF TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MEXICO

Ruiz Sibaja, J. A.¹, Vidal Sánchez, F.², Rodríguez Troyano, E.², Santos Hernández, J. F.¹

RESUMEN

La caracterización tipológica de 1942 edificaciones del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas se ha estimado con el criterio de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98). Los resultados del análisis tipológico muestran que la gran mayoría (91.81 %) de las edificaciones son de mampostería de adobe, ladrillos o bloques, la mayoría 78.26 % de ellas con diafragma rígido (la mitad de estas son estructuras confinadas) y el resto flexible. Un 7.93 % son estructuras de pórticos de concreto reforzado CR (1/3 con buen diseño sismorresistente pero no las restantes) y un 0.26 % de acero. Los resultados aplicando la metodología EMS indican que una cuarta parte de las edificaciones analizadas son de vulnerabilidad muy alta (clase A, 15.75 %) y alta (10.04 %, clase B), que la mayoría (64.41%) son de vulnerabilidad media (clase C) y solo el 10.0% del total tienen vulnerabilidad baja o muy baja (9.22% clase D, 0.62% clase E y 0.21% clase F). Los resultados señalan que una cuarta parte de las estructuras eva-

luadas necesitan medidas de refuerzo o su renovación y aconsejan un estudio de la vulnerabilidad en el resto de la ciudad para realizar un diagnóstico más completo que sea útil para la prevención de daños y la gestión de la emergencia sísmica.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, método tipológico, evaluación estructural, centros históricos, Tuxtla Gutiérrez.

ABSTRACT

Typological characterization and seismic vulnerability of 1942 buildings in the Historic Downtown of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, have been estimated with the criteria of the European macroseismic scale (EMS-98) and by the seismic vulnerability index method (VIM). Typological analysis results show that the vast majority (91.81%) are masonry buildings of adobe, bricks or blocks, most of them 78.26% with rigid diaphragm (half of these are confined structures) and flexible ones the rest. A 7.93% are RC frames structures (1/3 with good seismic design but not the rest) and 0.26% steel. The results using EMS methodology indicate that a quarter of the analyzed buildings have very high (A, 15.75%) and high vulnerability (10.04%, class B), the majority (64.41%) have medium vulnerability (class C) and only 10.0% of the total have low or very low vulnerability (9.22% class D, 0.62% class E and 0.21% class F). The results indicate that a quarter of the evaluated structures need reinforcement measures or their renewal. In addition, a study in the rest of the city would provide a more complete vulnerability diagnosis for earthquake damage prevention and seismic emergency planning.

Keywords: Seismic vulnerability, typological method, structural assessment, historic city centres, Tuxtla Gutiérrez.

¹ Profesor, Facultad de Ingeniería, Campus I, Universidad Autónoma de Chiapas, Boulevard Belisario Domínguez Km. 1081, Del. Terán, 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (México), Tel. (+52) 961.61.780.00, ext. 1560, Fax. (+52) 961.61.503.22, ext. 206, Email: ruizsibaja@gmail.com, jsantos@unach.mx

² Investigador, Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, Universidad de Granada (España), C/ Profesor Clavera Nº 12, 18071, Granada (España), Tel. (+34) 958.24.35.56, Fax (+34) 958.16.09.07, fvidal@ugr.es, evilla95969@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se aplica un método empírico de evaluación de la vulnerabilidad sísmica: el basado en la Escala de Intensidad Macrosísmica Europea EMS-98 (Grünthal, 1998), que denominaremos MEMS. Este es un método simple que asigna clases de vulnerabilidad EMS a los edificios considerando fundamentalmente su tipología constructiva, el material predominante usado en la construcción del sistema resistente, y factores modificadores de la vulnerabilidad como: calidad de la construcción, estado de preservación, regularidad, reforzamiento y el nivel de diseño sismorresistente. El presente estudio, se basa en una inspección y clasificación detallada de las 1942 edificaciones pertenecientes al Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, para evaluar su vulnerabilidad sísmica con el método mencionado y analizar la distribución espacial de dicha vulnerabilidad en esta parte de la ciudad.

DATOS

Las 1942 edificaciones estudiadas pertenecen a las 84 manzanas del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez mostradas en la Figura 1. La zona abarca un área aproximada de 80 hectáreas. Las edificaciones son de diversas tipologías estructurales, desde murarias de adobe, ladrillo o bloques, hasta estructuras de concreto reforzado y de acero. En la Figura 2 se muestran dos ejemplos de estructuras.

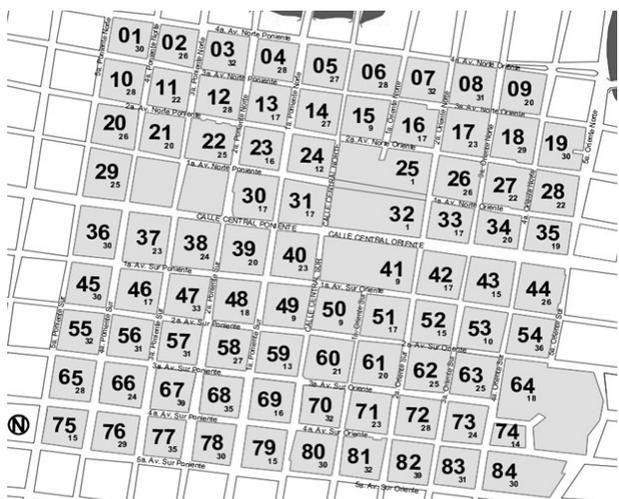


Figura 1. Ubicación de las 84 manzanas del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez (1942 edificaciones) analizadas en este estudio. La cifra grande indica la numeración asignada a cada manzana y la pequeña el número de edificios que hay en ella.

Para recoger de forma organizada, sencilla y relativamente rápida la información estructural relevante y el estado de las edificaciones se confeccionó una ficha técnica. En ella se incluyeron las características principales de los edificios considerando cuatro aspectos:

-*Información general de la edificación:* ubicación, número de plantas y de sótanos, fecha de la construcción, uso, ocupación, instalaciones, etc.

-*Características de los elementos estructurales y no estructurales:* tipo de estructura, sistema de piso, tipo y pendiente del terreno, cimentación, elementos no estructurales, otros elementos, etc.

-*Otros datos relacionados con la vulnerabilidad, según sean estructuras de mampostería o de concreto reforzado:* nivel de código sísmico, número de pisos, irregularidad en planta o en altura, ubicación dentro de la manzana, juntas sísmicas, edad, información sobre el grado de deterioro, etc.

-*Observaciones e información fotográfica:* donde se muestran imágenes generales y de detalles de la estructura y de su estado que serían difíciles de describir en el formulario, mostrando, en su caso, la gravedad de los problemas observables y anotaciones correspondientes a otros factores relevantes para la estimación de la vulnerabilidad.

Después de registrar en las fichas técnicas las características de cada una de las 1942 edificaciones investigadas in situ, éstas se agruparon de acuerdo con su uso, ubicación en la manzana (y relación con colindantes) y sus características estructurales: tipo de material de construcción (mampostería de adobe, ladrillo o bloques, concreto reforzado y acero), cimentación y sistema de piso-techo, de modo que fuese más fácil evaluar su vulnerabilidad final con el método MEMS, que se describe a continuación.



Figura 2. Ejemplos de dos de los edificios analizados, estructura muraria de ladrillo (izquierda) y de marcos de CR con cerramientos de ladrillo (derecha).

ALTURA DE LOS EDIFICIOS DEL CENTRO HISTÓRICO

Gran parte de las edificaciones del Centro Histórico de Tuxtla (1569 edificaciones o el 81.22 % del total) de la zona estudiada son de uno o dos niveles (de baja altura), tal como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 3. Puesto que la baja altura de los edificios de mampostería es uno de los factores fundamentales en su resistencia a los terremotos, es muy probable que, de forma empírica los habitantes de Tuxtla Gutiérrez hayan aprendido a limitar la altura de sus edificaciones.

Tabla 1. Clasificación de edificaciones por número de niveles.

Nº Niveles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Edificaciones	842	727	235	71	45	15	2	3	1	1

En recientes estudios se ha encontrado que los periodos de las edificaciones de mampostería (entre uno y cuatro niveles) del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez, son cercanos a los periodos predominantes del suelo, lo que podría explicar la concentración de los daños observados en los terremotos de 1995 y 2011 (González Herrera et al., 2014). Esta situación puede incrementar la vulnerabilidad individual de estos edificios, dado que podría presentarse el fenómeno de resonancia suelo-estructura ante eventos sísmicos.

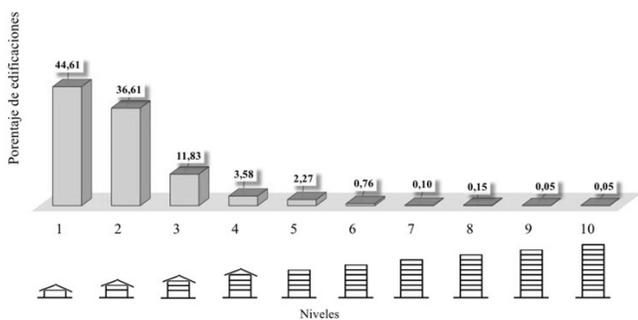


Figura 3. Porcentajes de edificaciones por número de niveles. La gran mayoría de las edificaciones son de baja altura y media altura (1, 2 o 3 plantas).

EDAD DE LAS EDIFICACIONES

La edad de las construcciones está relacionada de forma directa con algunos de los daños observados en los sismos, e incide en la capacidad resistente de una estructura. De manera general, una estructura “vieja” normalmente ha sufrido daño por sismo, presenta deterioro por falta de mantenimiento y se ha diseñado con reglamentos antiguos. En los edificios de mampostería el deterioro de los ladrillos y/o del mortero causado por el desgaste debido a factores meteorológicos con el paso de los años, merma su comportamiento resistente frente a acciones tanto verticales como horizontales. En la Figura 4 se representa la edad media de los edificios de las manzanas del Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez.

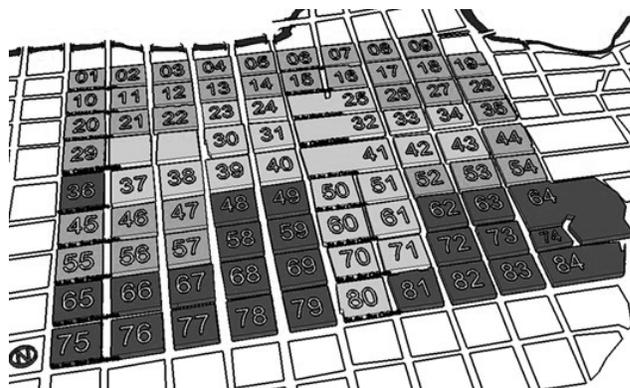


Figura 4. Edad media de los edificios de cada manzana del Centro Histórico. Las que tienen entre 40 y 30 años (con edificios más antiguos) se muestran en verde oscuro, entre 30 y 20 años en verde oliva y donde están las más recientes, menos de 20 años en verde claro.

TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS ENCONTRADAS

La mayor parte de las edificaciones en el Centro Histórico de Tuxtla (91.81% del total) son de mampostería de ladrillo, de bloque de concreto o de adobe; el 7.93% de las edificaciones restantes son de concreto reforzado CR (con o sin diseño sismorresistente DSR) y únicamente el 0.26% son de acero estructural (Figura 5). No se encontraron estructuras de madera.

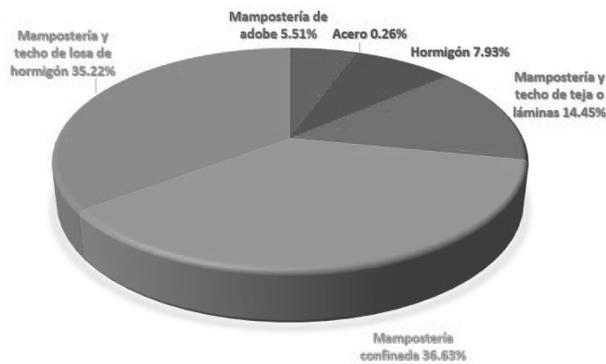


Figura 5. Reparto de las distintas tipologías constructivas del Centro Histórico de Tuxtla.

Las construcciones de adobe (un 5.51% del total) son las menos abundantes de mampostería, son generalmente de planta rectangular, muros altos (dimensiones más comunes de $5 \times 8 \times 4$ m³), con techo de teja, lámina de zinc, lámina de asbesto o losa de hormigón y con pocas y pequeñas aberturas para puertas y ventanas. Ruiz-Sibaja y Vidal (2015) comprobaron, con ensayos en laboratorio, que las piezas de adobe de la zona eran de cierta calidad, con una resistencia a compresión simple de 18.64 kg/cm^2 (mayor que 16.31 kg/cm^2 indicada por Rotondaro y Patrone, 2009), una resistencia a flexión de 2.11 kg/cm^2 , y una resistencia a compresión de las pilas de 5.36 kg/cm^2 , valores inferiores a 3.0 kg/cm^2 y 6.00 kg/cm^2 , respectivamente, indicada por otros investigadores (p.e. Hernández et al., 1981).

Las construcciones de mampostería de ladrillo o bloque sin confinar y con forjado flexible (techos de madera con teja, o de láminas de zinc o amianto) son un 14.45% del total. Es un sistema constructivo tradicional de origen colonial, que consiste en la ejecución de muros de carga, sin confinar ni reforzar, de piezas de ladrillo o de bloque de hormigón de unos 3 a 3.5 m de altura. Los techos ligeros no pueden considerarse como diafragmas rígidos y por tanto no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros. Esta tipología ya no está permitida en obra nueva porque la falta de rigidez del piso no evita el vuelco de los muros, las roturas a cortante, ni el colapso de la estructura ante sismos de excepcional intensidad.

Las construcciones de mampostería de ladrillo o de bloque de concreto sin confinar con forjados rígidos de losa de concreto reforzado son abundantes,

un 35.22% del total. La altura del muro de mampostería es de unos 3 a 3.5 m, y la losa de hormigón más usada es la aligerada, de entre 10 y 12 cm y colado in situ.

Las construcciones de mampostería confinada de ladrillo o de bloque de concreto con forjados rígidos de losa de CR son las más abundantes, un 36.63% del total. En este tipo, a la mampostería no reforzada se le colocan elementos confinantes perimetrales de sección pequeña de hormigón armado verticales (columnas de amarre, castillos,) y horizontales (vigas de amarre, dalas), que encadenan los muros y los ligan con las losas. El marco confinante es flexible y proporciona una liga efectiva con los elementos adyacentes, por lo que esta tipología tiene mejor comportamiento sísmico que los anteriores.

La mayoría de las estructuras de mampostería (78.25%) tienen diafragma rígido (losa de CR) y conforman un 71.85% del total mientras que las de diafragma flexible son el 19.96% del total.

Las estructuras de marcos de CR son solo el 7.93% del total. La mayoría de ellas (63.63%) son de bajo nivel de diseño sísmico (o sin él), con muros de cerramiento no estructurales y diafragmas rígidos de CR. Ninguna de estas edificaciones de CR tiene muros de corte, y su sistema resistente es a base de marcos rígidos. Su comportamiento sísmico es muy dependiente del nivel de diseño sísmo-resistente.

Las estructuras de acero son recientes (menos de 20 años) y tienen diseño sísmo-resistente. Son muy escasas en Tuxtla, un 0.93% del total.

MÉTODO DE LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA EMS

El daño que sufre una edificación durante un terremoto está relacionado con la intensidad del movimiento del terreno (que depende fuertemente de las características del sitio) y con la vulnerabilidad de la construcción (que depende de su tipología, nivel de diseño, calidad de la ejecución, geometría, irregularidades en planta y elevación, discontinuidades, número de plantas, ductilidad, posición con edificios aledaños, estado de conservación, patologías, etc.).

La tipología estructural probablemente es el factor más importante al estudiar la vulnerabilidad de las edificaciones, ya que está ligada tanto a la calidad del material con que se realiza la estructura (puesto

que las construcciones se utilizan durante muchos años) como al modo de construirla (condicionado al diseño y a la ejecución de la obra). De ahí que las características resistentes del material y la forma en que se dispone en la estructura en cada región y época son las propiedades que fundamentalmente se han considerado para clasificar las tipologías constructivas.

La diferenciación clara de las tipologías constructivas en función de su comportamiento sísmico es decisiva para la evaluación de la vulnerabilidad. Esta diferenciación tipológica ha sido el factor clave para clasificar la vulnerabilidad de las construcciones en las escalas de intensidad tales como la Modificada de Mercalli MM-56 (versión Richter, 1958), la escala MSK-1964 (Medvedev et al, 1965) o la EMS-98 (Grüntal, 1998).

La Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) establece seis clases de vulnerabilidad ordenadas de menor a mayor resistencia sísmica (A, B, C, D, E, F). Generalmente, dentro de estas clases, A representaría la vulnerabilidad de construcciones de mampostería de adobe o de piedra suelta, B las de ladrillo o bloques y C las de estructuras de concreto reforzado sin DSR o las de mampostería con forjado de losa. La clase D correspondería a estructuras de CR con DSR medio o a las de mampostería confinada o reforzada y E las estructuras de CR con DSR alto o de acero, ambas reflejarían descensos significativos de la vulnerabilidad. La clase F representaría aquellas estructuras con la más baja vulnerabilidad sísmica, de CR o de acero con nivel muy alto de DSR.

Estas clases establecen las características más probables de comportamiento ante fuerzas sísmicas (especialmente ante las laterales) de cada tipología constructiva, aunque considera la posibilidad de que diferentes tipos de edificios pueden pertenecer a una misma clase de vulnerabilidad y también que edificios de una tipología pueden presentar respuestas sísmicas diferentes (Barbat y Pujades, 2004) y por tanto vulnerabilidades diferentes.

La escala EMS-98 considera cuatro categorías en función del material y de la construcción de su sistema resistente: Mampostería, Concreto Reforzado, Acero y Madera. Dentro de cada categoría considera diversos tipos de edificios caracterizados en función de los materiales empleados en su construcción y de las características de diseño, en total 15 tipos. Cada

tipología de edificios admite diversos rangos posibles de pertenencia a clases de vulnerabilidad definidos como: más probable, probable y menos probable o excepcional (véase Grüntal, 1998).

Tras la identificación de la tipología constructiva a la que pertenecía cada edificación se le asignó la clase de vulnerabilidad EMS-98 más probable correspondiente a su tipología y luego, teniendo en cuenta los aspectos observables visualmente (mencionados anteriormente) que influyen en sus características sismorresistentes, superiores o inferiores a la media de esa tipología se le consideró una clase de menor o mayor vulnerabilidad, respectivamente.

RESULTADOS CON EL MÉTODO EMS

En la Tabla 2 se muestra la clase de vulnerabilidad EMS-98 estimada de los edificios de cada tipología al aplicar la clasificación tipológica y los criterios de la escala EMS y el número total de edificios de cada clase. Los resultados indican que la mayoría de las edificaciones son de vulnerabilidad media o clase C (64.41%). La mayor parte corresponde a la tipología de mampostería de ladrillo o de bloque de concreto con diafragma rígido y en buenas condiciones; también hay abundantes edificios de clase C en tipologías de mampostería confinada y de concreto reforzado sin DSR de menos de 35 años.

La segunda clase más común es la A, o de vulnerabilidad muy alta, representa un 15.76% del total. A esta clase corresponden todas las edificaciones de adobe y una gran parte de las de mampostería con tejados flexibles.

Las estimadas como de clase B (un 10.04% del total de las edificaciones) son mayormente el resto de tipologías de forjados flexibles y parte de las edificaciones de mampostería mal confinada o de ladrillo y losa con defectos o signos de mal estado.

La clase D (9.22% del total de edificaciones) está representada por las tipologías de concreto reforzado con diseño sismorresistente y las de menos de 15 años y en buen estado y por más de la mitad de las edificaciones de mampostería confinada recientes que están en buenas condiciones y son de baja altura.

Las clases E y F apenas representan un 0,83% de las construcciones evaluadas, corresponden a edificios de CR o de acero con alto nivel de diseño sismo-

resistente, y generalmente coinciden con edificios administrativos y hoteles del Centro Histórico.

En la Figura 6 se muestra la representación volumétrica de las edificaciones de la manzana 27 en el que se refleja la clase EMS obtenida con este método.

Para tener una visión general de la distribución de la vulnerabilidad en el Distrito Centro, en la Figura 7 se muestra el número de edificios de cada clase de vulnerabilidad por manzana. Como puede observarse, es muy notable el predominio de la clase C (vulnerabilidad media-alta, color amarillo) en casi todas las manzanas. Las clases A y B son aproximadamente más de la cuarta parte y las de clase D (en

verde claro) son, de media, casi 7 veces menos que las de C. Las clases E y F (colores verde oscuro y azul) son muy pocas o raras, respectivamente.

Como las construcciones de clases A y B son las más susceptibles de sufrir colapso y daños muy graves en sacudidas sísmicas muy fuertes, en la Figura 8 se muestran el número de cada una de ellas en cada manzana. La abundancia de construcciones de vulnerabilidad muy alta y alta es un claro indicador de la necesidad de medidas preventivas y mitigadoras frente al sismo en este distrito, sobre todo en algunas de las manzanas.

Tabla 2. Matriz de tipología estructural y clase de vulnerabilidad EMS-98 asignada.

Tipología estructural	Número de edificios	Vulnerabilidad EMS					
		A	B	C	D	E	F
Adobe de barro y techo de teja de barro recocido	72	72					
Adobe de barro y techo de lámina de zinc	25	25					
Adobe de barro y techo de lámina de asbesto	9	9					
Adobe de barro y losa maciza de HA	1	1					
Ladrillo sin techo (abandonado)	4	4					
Ladrillo y techo de teja	125	77	48				
Ladrillo y techo de lámina de zinc	107	81	26				
Bloque de concreto y techo de lámina de zinc	2		2				
Ladrillo y techo de lámina de asbesto	43	33	10				
Ladrillo y techo de losa maciza de HA	587	3	39	542	3		
Bloque de concreto y techo de losa maciza de HA	97		32	65			
Mampostería confinada con techo de losa	711	1	31	582	97		
Concreto reforzado sin DSR	98		7	51	40		
Concreto reforzado con DSR	56			6	37	13	
Acero estructural	4				2	2	
Acero estructural atirantado	1						1
Todos	1942	306	195	1246	179	15	1

CONCLUSIONES

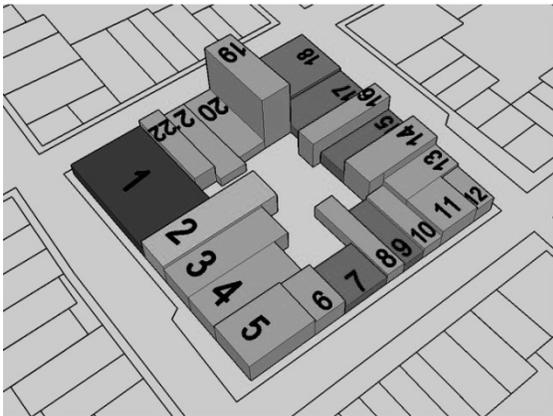


Figura 6. Clases de vulnerabilidad EMS de los edificios de la manzana 27 con el MEMS.

Los resultados del análisis de los datos de las 1942 edificaciones del Distrito Centro de Tuxtla, Chiapas, muestran que el sistema estructural predominante (91.81 %) es el de muros de carga (de adobe, de ladrillos o de bloques), la mayoría con diafragma rígido (78.26 %, la mitad estructuras de mampostería confinada) y el resto flexible. Las estructuras de pórticos de concreto reforzado (CR) sin muros de corte son el 7.93 %, de las que sólo el 36.37 % tienen un buen diseño sismorresistente (DSR) pero no las restantes, cuyo nivel es bajo o sin él. Las estructuras de acero estructural son muy escasas (0.26 %) y no hay ninguna tipología de madera.

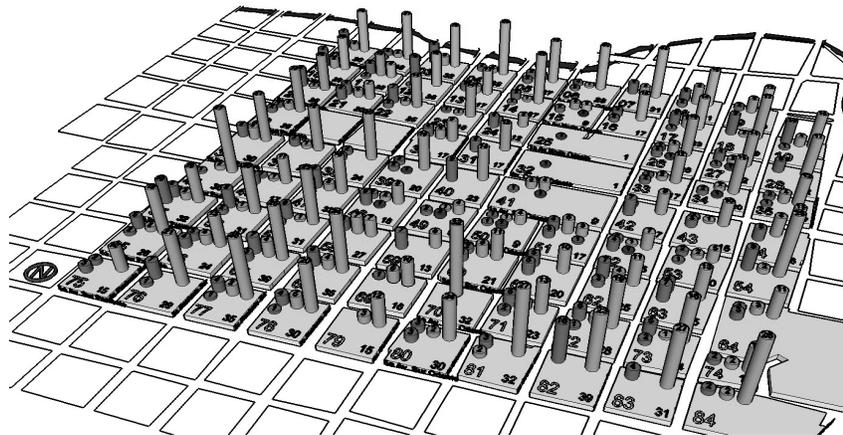


Figura 7. Representación del número de edificaciones de cada clase en cada manzana del Distrito Centro de Tuxtla. Es apreciable el predominio de la clase C (vulnerabilidad media, color amarillo) en casi todas las manzanas. Los números pequeños sobre cada columna indican el número de edificios de cada clase de vulnerabilidad en esa manzana y los números grandes el número de la manzana. Las clases de vulnerabilidad equivalente EMS se indican con los colores usados anteriormente.

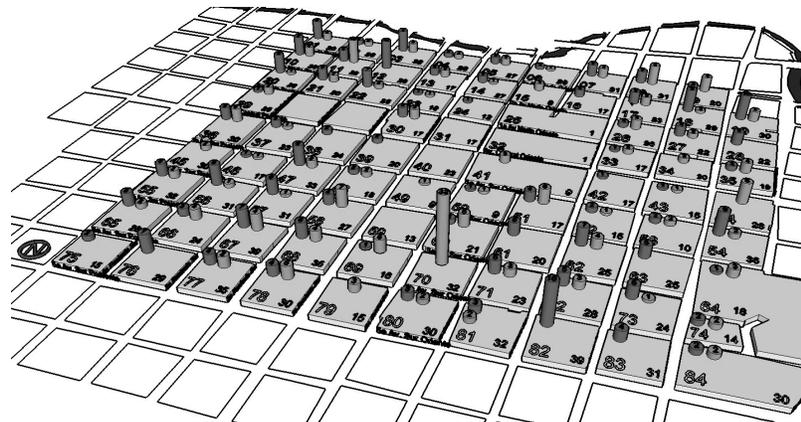


Figura 8. Representación del número de edificaciones de clases A y B en cada manzana del Distrito Centro de Tuxtla, que muestra claramente la abundancia de las construcciones más vulnerables y la necesidad de medidas correctoras.

La valoración de la vulnerabilidad sísmica, utilizando la clasificación tipológica y los criterios de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), indica que la mayoría de las edificaciones (64.15%) son de vulnerabilidad media-alta (clase C), generalmente estructuras de mampostería con diafragma rígido. Un número significativo (15.75 %) son de vulnerabilidad muy alta (clase A) y un 10.04 % son de vulnerabilidad alta (clase B), que corresponden a estructuras de mampostería de adobe o de ladrillo en mal estado y a mampostería con diafragma flexible, respectivamente. Las estructuras de clase D (9.22 %) son las de concreto reforzado de buena calidad de construcción (normalmente menos de 15 años) y buen nivel de DSR, mientras que aquellas con alto nivel de diseño sísmico, junto con las de acero, se clasificaron (0,83 % del total) como E o F.

Esto indica que las construcciones menos vulnerables se encuentran en el núcleo administrativo del Distrito (en la parte central), con edificios como el Palacio Federal, de clase E. Sin embargo, a medida que nos alejamos del centro los niveles de vulnerabilidad aumentan considerablemente, al haber más edificaciones de mampostería, que son generalmente más antiguas y muchas de ellas producto de la auto-construcción.

Se confirma que la vulnerabilidad sísmica estimada con el método EMS es rápida y sirve para dar una primera aproximación aplicable a inventarios muy grandes de edificaciones.

Estos resultados, en una zona de peligro sísmico alto, son un indicador de las condiciones del riesgo sísmico alto existente en el Centro Histórico de Tuxtla Gutiérrez y ponen de manifiesto la necesidad que tienen el 90 % de las estructuras existentes en la zona estudiada de medidas de renovación, en las primeras, y de refuerzo, en las segundas. Igualmente indican la necesidad de efectuar un estudio de la vulnerabilidad del resto de la ciudad para realizar un diagnóstico completo que sea útil para la prevención de daños y la gestión de la emergencia sísmica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración en la toma de datos in situ realizada por estudiantes de la Universidad Autónoma de Guerrero y el apoyo logístico del Mtro. Ricardo Suárez Gómez de la Universidad Autónoma de Chiapas.

REFERENCIAS

- Barbat, A. y Pujades, L. (2004). Metodología de estimación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones clasificadas de "importancia especial" en la NCSE-02. Informe Técnico N° IT-438, Noviembre 2004. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona, España.
- González Herrera, R., Mora Chaparro, J. C., Aguirre González, J., Aguilar Carboney J. A., Narcía López, C. (2014). Análisis de los daños históricos por sismo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En "Memorias del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural". Artículo 04, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Grünthal, G., (ed.), (1998). European Macroseismic Scale 1998, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie Volume 15, Luxembourg.
- Hernández, O., Meli, R., Padilla, M. y Valencia, E. (1981). Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas. Estudios experimentales. Informe 441, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Medvedev, S. W., Sponheuer W. and Karnik V. (1965). Seismic Intensity Scale (version MSK 1964). Working Group on Seismicity and Seismo-Tectonics (First meeting Tbilisi, 8-12 June 1965). Unesco Archives: UNESCO/NS/SEISM/28. Paris, 7 May 1965.
- Richter, C. F., (1958). Modified Mercalli Intensity Scale (MM-56). Elementary Seismology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 135-149; 650-653.
- Rotondaro, R. y Patrone, J. C. (2009). La construcción con tierra, una tecnología posible para el hábitat. Revista Saber Cómo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina.
- Ruiz Sibaja, A. y Vidal, F. (2015). Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. ESPACIO I+D, Innovación más Desarrollo • Vol. IV, No. 7, Febrero 2015 • ISSN: 2007-6703