

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE DOS PROTOTIPOS DE VIVIENDA RURAL CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE CONCRETO HUECO, EN OCUILAPA DE JUÁREZ, CHIAPAS

—

Dr. Lorenzo Franco Escamiroso Montalvo • franco@unach.mx

FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS, MÉXICO

Dr. Roberto Arroyo Matus • arroyomatus@hotmail.com

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
GUERRERO, MÉXICO

Mtra. María de Lourdes Ocampo García • lourdes@unach.mx

Dr. Carlos Uriel del Carpio Penagos • carlitosuriel@hotmail.com

FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS, MÉXICO

Para citar este artículo:

Arroyo, R., Del Carpio, C., Escamirosa, L. y Ocampo, M. (2018) Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de dos prototipos de vivienda rural construidos con bloques de concreto hueco, en Ocuilapa de Juárez, Chiapas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 7 (16) 9-30. doi: 10.31644/IMASD.16.2018.a01

RESUMEN

En el medio rural de México y Latinoamérica, prevalece la población de bajos ingresos económicos que habita en viviendas precarias, inseguras e insalubres, y ancla a sus moradores en el círculo de la pobreza. El equipo académico, con el propósito de contribuir en la solución al problema de vivienda rural, elaboró prototipos de viviendas de bajo costo que fueron construidos por familias que viven en condiciones de alta marginación en la localidad de Ocuilapa de Juárez, Chiapas. En la construcción se utilizaron materiales existentes en el lugar; piedra para la cimentación, arena con alto contenido de arcilla (22%) en la elaboración de bloques huecos de concreto, y madera en la estructura de cubierta. En este artículo, se presentan los resultados de las mediciones realizadas con acelerómetros en dos viviendas, para determinar el nivel de vulnerabilidad ante posibles escenarios sísmicos. Los periodos fundamentales de vibración obtenidos se encuentran entre 0.08 a 0.12 segundos; rango de valores comunes para viviendas estructuralmente sanas. También, los análisis efectuados comprueban que las viviendas están en condición de «vulnerabilidad baja» ante la presencia de sismos de mediana magnitud.

Palabras clave

Vivienda prototipo; vivienda rural; bloques huecos de concreto; vulnerabilidad sísmica; sismos.

SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF TWO RURAL
HOUSING PROTOTYPES BUILT WITH CONCRETE
HOLLOW BLOCKS, IN OCUILAPA DE JUÁREZ, CHIAPAS

— *Abstract* —

In the rural areas of Mexico and Latin America, prevails the people of low income, living in unsafe and unhealthy, precarious housing anchoring to its inhabitants in the cycle of poverty. The academic team, with the purpose of contributing to the solution to the problem of rural housing, developed prototypes of low-cost housing that were built by families living in conditions of high marginalization in the town of Ocuilapa Juárez, Chiapas. The construction used existing materials in the place; stone in foundations, sand with high clay content (22%) in the preparation of concrete hollow blocks and wood in the roof structure. This article presents the results of measurements made with accelerometers in two homes, to determine the level of vulnerability to seismic scenarios. The fundamental period of vibration obtained are from 0.08 to 0.12 seconds; range of common values for structurally 'healthy' dwellings. Also, the analyses carried out prove that dwellings are in 'low vulnerability' condition in the presence of medium magnitude earthquakes.

Keywords

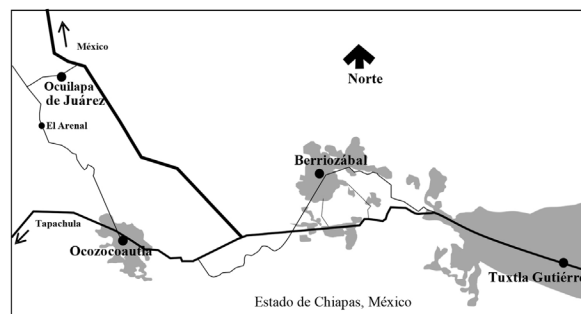
Housing prototype; rural housing; concrete hollow blocks; seismic vulnerability; earthquakes.

En el medio rural del estado de Chiapas y en otras entidades de México, así como en Latinoamérica, se observan viviendas construidas con madera, carrizo, palma, piedra y tierra, entre otras materias primas, provenientes de la naturaleza; también, se identifican viviendas hechas con materiales industrializados de bajo costo, como las láminas de cartón y productos de residuos: plásticos, láminas metálicas, etc. La población rural, en condición social de pobreza y pobreza extrema, construye sus propias viviendas con estas características, y en la mayoría de los casos, tienen muros y cubiertas fabricadas con materiales de mala calidad, pisos de tierra, no disponen de espacios adecuados, obtienen poca agua para consumo y no tienen drenaje. Estas realidades conllevan a que las familias vivan hacinadas y en condiciones insalubres e inseguras que impiden su desarrollo económico y social.

En consecuencia, la búsqueda de soluciones que atiendan el problema de vivienda rural de las familias de bajos ingresos económicos, ha orientado las investigaciones que realiza este grupo de trabajo al análisis y construcción de prototipos de viviendas alternativas, asequibles económicamente, seguras y con elementos que ofrezcan ambientes higiénicos para los habitantes; además, que consideren la tipología de los inmuebles locales y los usos y costumbres tradicionales. Estas propuestas de vivienda, tienen como propósito contribuir al mejoramiento del hábitat rural y a elevar la calidad de vida de las familias.

El estudio que se presenta fue realizado en la localidad de Ocuilapa de Juárez del municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, que se localiza a 13 km al noroeste de la ciudad de Ocozocoautla y a 31 km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas (figura 1). La localidad cuenta con 3,921 habitantes y 955 viviendas (INEGI, 2010 y 2013), y de acuerdo con las cifras del Consejo Nacional de Población (2007), la mayoría de los habitantes realizan actividades primarias y registra un grado de marginación «alto», referido a localidades con falta de acceso a la educación, viviendas inadecuadas y carentes de bienes de consumo.

Figura 1. Localización de Ocuilapa de Juárez, Municipio de Ocozocoautla, Chiapas



En trabajos previos realizados (Escamirosa *et al.*, 2006), se identificó que cerca del 79.4% del total de viviendas de la localidad están construidas con cimentación de mampostería de piedra del lugar; los muros de bloques huecos de concreto con dos celdas con refuerzo vertical sólo en las esquinas e intersecciones (sin refuerzo en los vanos de puertas o ventanas), y en el sentido horizontal, tienen refuerzo en el cerramiento a la altura de puertas y ventanas, y, en algunos casos, en el desplante de muros; las techumbres están estructuradas con madera que soporta la cubierta de teja de barro o lámina de zinc. En general, se observan viviendas construidas con procedimientos inadecuados, tienen poco acero de refuerzo (insuficiente confinamiento estructural); y, además, el mortero y concreto se elabora con arena del lugar que contiene 22% de arcilla (sin materia orgánica y con muy alta plasticidad). Estos aspectos influyen en forma directa en las fisuras y grietas presentes en los muros de un alto porcentaje de viviendas y por consiguiente, permiten aseverar que poseen un nivel de vulnerabilidad elevado (Calvi *et al.*, 2006 y Tesfamarian y Goda, 2013).

Entre los años 2007 y 2008, cinco familias de bajos ingresos económicos de Ocuilapa de Juárez, construyeron los prototipos de vivienda alternativa. Se utilizaron los materiales existentes en la localidad, que por su bajo costo, son comúnmente empleados por los habitantes; asimismo, se consideró aprovechar sus habilidades y experiencias adquiridas en las técnicas tradicionales que han aplicado de generación en generación, para la construcción de sus propias viviendas: Cimentación de mampostería de piedra; muros con una nueva propuesta de bloques huecos de concreto con tres celdas y reforzados con acero al interior; techumbre con estructura de madera y cubierta con teja de barro. En el mortero para la elaboración de los bloques huecos y el concreto en el relleno de los castillos y de las dalas, se utilizó la arena del lugar, que por el elevado contenido de arcilla, se sugiere como una mezcla de arena-suelo-cemento.

Si bien, la estructura de las viviendas mejoró considerablemente, la resistencia promedio a la compresión de los bloques huecos de arena-suelo-cemento con tres celdas, obtenida en el laboratorio fue de 42.93 kg/cm², inferior a la resistencia promedio establecida en las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 y la N-CMT-2-01-002/02 (SCT, 2002), las cuales son respectivamente 100 y 60 kg/cm²; no obstante, la resistencia a la compresión promedio del concreto para los castillos y las dalas, alcanzó la resistencia mínima establecida de 150 kg/cm² (NTCM, 2004). La baja resistencia a la compresión registrada en los bloques, es consecuencia del alto contenido de arcilla en la arena del lugar (22%) (Escamirosa *et al.*, 2016). En este sentido, es indiscutible técnicamente que la eliminación de la arcilla en la arena utilizada mejoraría significativamente la resistencia del concreto; sin embargo, el agua utilizada

para el lavado de la arena o adquirir arena limpia de otro lugar, incrementa 100% el costo de este material. Por este motivo, el equipo de trabajo decidió emplear los materiales comúnmente utilizados por la comunidad para la construcción de las viviendas.

En este trabajo se presenta el análisis realizado en dos prototipos construidos en Ocuilapa de Juárez, para determinar el nivel de vulnerabilidad de las viviendas ante posibles escenarios sísmicos. Las mediciones se efectuaron en cada vivienda con sensores acelerométricos y se establecieron los periodos fundamentales promedio de vibración, los cuales se encuentran en el rango de valores recomendado por Hernández, *et al.* (1979), correspondiente a viviendas estructuralmente sanas (0.08 a 0.12 segundos). Lo anterior indica que el sistema tiene la rigidez equivalente a un sistema de un nivel, con una densidad de muros «suficiente». Es importante agregar que el periodo fundamental obtenido a través de vibración ambiental sobrerigidiza los resultados reportados en la estructura, ya que incluye la interrelación de los elementos estructurales y no estructurales.

2. ANTECEDENTES

2.1 Investigación de campo

Como ya se mencionó, en el año 2005 se realizaron los primeros estudios en localidad de Ocuilapa de Juárez. Los trabajos de campo permitieron identificar las características, los materiales utilizados y las condiciones de los elementos estructurales existentes en 486 viviendas. Los resultados muestran que del total de viviendas, 70.37% tienen pisos de cemento pulido y 16.67% de tierra; los muros, 79.42% están hechos con bloques de concreto hueco con dos celdas, 9.05% con tabique de barro recocido y el restante, 11.53% utilizan: madera, adobe y bajareque (construcciones vernáculas), e incluso materiales de desecho como cartón y lámina. Respecto a las techumbres, 41.14% de las viviendas tienen lámina galvanizada, 35.18% son de concreto y 20.57% de teja de barro de la región. En forma detallada se examinaron las viviendas construidas con madera, materiales de desecho, las de piso de tierra y las edificadas a la usanza ancestral con muros de adobe o bajareque¹. Sin excepción, estas viviendas se encuentran en muy mal estado de conservación y presentan condiciones inseguras e insalubres.

1 Según Moya (1988), el bajareque se construye con hileras de horcones de madera hincados en el suelo que forman las paredes y entre éstos se coloca un entramado de varas entretrejidas, que después se rellenan por ambos lados con aplanado de barro, mezclado con zacate o paja

Por otra parte, en las viviendas construidas con muros de tabiques de barro recocido, bloques macizos o huecos de concreto con dos celdas, se observó que su estado de conservación es mayor; no obstante, la estructura no garantiza seguridad para sus ocupantes por las siguientes condiciones: Del total de las viviendas, 62% tienen cimentación de mampostería con piedra del lugar y el resto de concreto reforzado. En ambos casos los elementos son adecuados por el tipo de suelo rocoso de la zona; sin embargo, 79.42% de las viviendas están construidas con muros de bloques de concreto hueco con dos celdas y de éstas, 30.55% presentan grietas a consecuencia que los muros únicamente tienen acero de refuerzo vertical en las esquinas e intersecciones, sin considerar los vanos de puertas y ventanas, y en el sentido horizontal, la mayoría sólo cuenta con una dala de cerramiento a la altura de puertas y ventanas. Las viviendas se construyeron con pocos elementos confinantes en sus muros (figuras 2 y 3), que resultan insuficientes de acuerdo a las normas técnicas vigentes (NTCM, 2004). De hecho, no cumplen con lo especificado en el apartado de refuerzo por integridad estructural para viviendas rurales y los materiales que dan origen al sistema tampoco cumplen con las especificaciones de dicha norma.

Figura 2. Interior de vivienda de bloques huecos



Figura 3. Vivienda típica con muros de bloques huecos



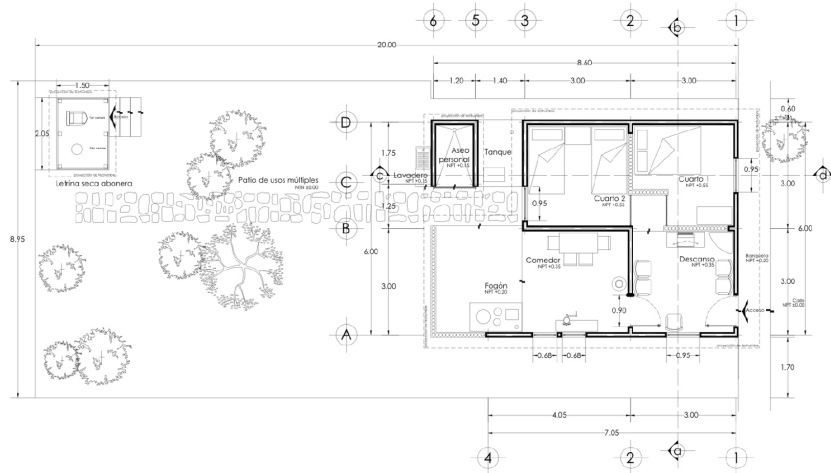
Se realizaron análisis en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, para determinar las propiedades físicas y petrográficas de la arena utilizada, además de la resistencia a compresión axial simple, el peso específico y la absorción de los bloques huecos de concreto con dos celdas, comúnmente fabricados por los habitantes de Ocuilapa de Juárez. Los resultados demuestran que la arena del lugar, obtenida del banco de materiales «El Arenal», localizado a 4 km de la localidad (figura 1), contiene 22% de arcilla sin materia orgánica con muy alta plasticidad; esta arena tiene un costo 100% menor respecto a la arena de río que se puede obtener en la ciudad de Ocozacoautla. Los análisis indicaron que la resistencia promedio a la compresión axial simple del mortero elaborado con este tipo de arena fue de 30.19 kg/cm², inferior a la establecida en las normas (Resistencia mínima = 60 kg/cm²: NCMT-2-01-002/02 (SCT, 2002); y 100 kg/cm²: NMX-C-404-ONNCCE-2012).

Las condiciones anteriores permiten advertir que las viviendas pueden ser vulnerables ante los efectos sísmicos. Estos son frecuentes en el estado de Chiapas, por localizarse en una zona con elevada actividad sísmica, resultado principalmente por la subducción de la placa tectónica de Cocos bajo la placa de Norteamérica (García y Suárez, 1996). Esta es sólo una de las cinco fuentes sismogénicas que se presentan en esta región. Por ello, y debido a que el sistema sismo-resistente de este tipo de viviendas está basado únicamente en los elementos portantes verticales, existe riesgo que los daños identificados en los muros de las viviendas construidas con bloques huecos de concreto se agudicen, e incluso puedan ocasionar colapsos parciales o totales, como resultado de los movimientos sísmicos.

2.2 Características de los prototipos de vivienda rural

Durante el período de 2006 a 2008, a través de proyectos de investigación financiados por el Fondo Mixto del CONACYT y del Gobierno del estado de Chiapas (FOMIX-Chiapas) así como por el Sistema Institucional de Investigación de la Universidad Autónoma de Chiapas, se construyeron cuatro prototipos de vivienda en Ocuilapa de Juárez. En el diseño de los espacios y elementos funcionales de las viviendas, se consideró la participación de las familias de bajos ingresos económicos seleccionadas para conocer sus comentarios en relación a las propuestas, a usos y costumbres, imagen, tipología de la comunidad y ambiente natural, entre otros aspectos (figura 4).

Figura 4. Planta arquitectónica de un prototipo de vivienda rural



En la construcción de los muros se utilizó una nueva propuesta de bloque hueco de tres celdas elaborado con concreto arena-suelo-cemento (se utilizó la arena del lugar), que incluyó la colocación de acero de refuerzo en el interior, tanto en el sentido vertical como horizontal y distribuido a lo alto y largo de los muros, de acuerdo con las normas para muros de mampostería con bloques de concreto hueco (NTCM, 2004). Las dimensiones de los bloques huecos fueron 15x19x40 cm (600 cm² de área bruta), con tres celdas de sección cada una de 9.67x9.67 cm, obteniéndose 319.47 cm² de área neta (53.25%). Los espesores internos y externos de las paredes de los bloques fueron en promedio de 2.5 cm (figuras 5 y 6).

Figura 5. Molde para la elaboración manual de bloques



Figura 6. Piezas de bloques hueco con tres celdas

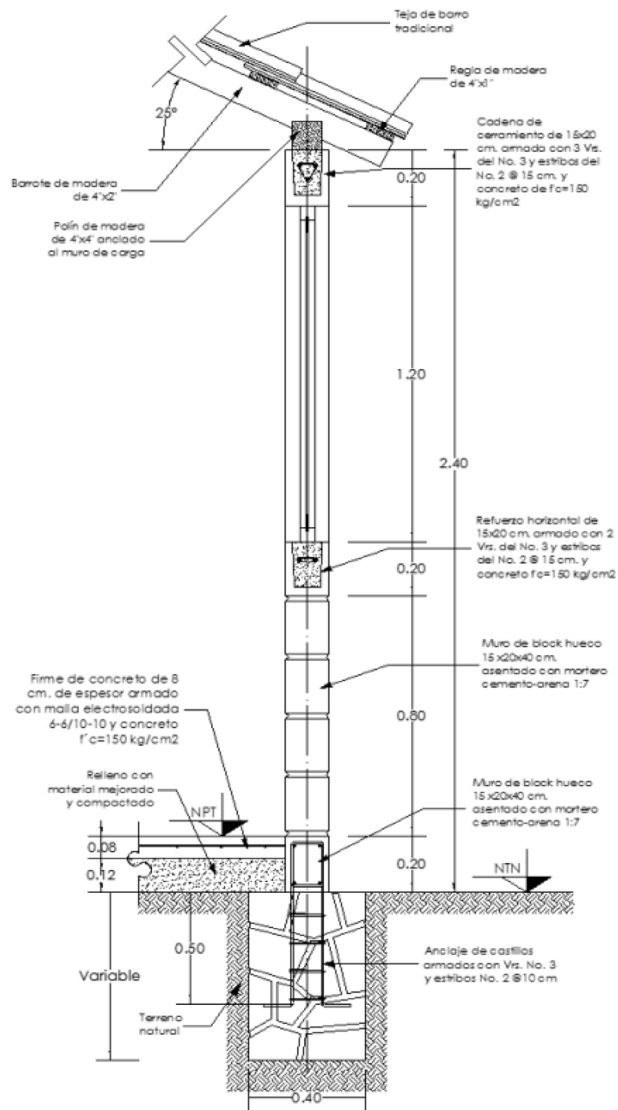


Para los prototipos se utilizaron los materiales existentes en el lugar: arena, piedra y madera; asimismo, el procedimiento aplicado fue la autoconstrucción asistida, que consistió en ofrecer asistencia técnica a las familias seleccionadas. Al respecto, se impartieron cursos de capacitación, asesoría técnica, seguimiento y control de calidad durante la construcción. Estas actividades fueron realizadas por el equipo de trabajo y los estudiantes de la carrera de arquitectura de la Universidad.

En general, la estructura de las viviendas mejoró; no obstante, el alto contenido de arcilla (22%) contenida en la arena empleada para la elaboración de los bloques de concreto de tres celdas, derivó en obtener una resistencia promedio a la compresión simple de 42.93 kg/cm^2 . Este resultado es inferior a 60 kg/cm^2 establecido en la norma N-CMT-2-01-002/02 (SCT, 2002), a 100 kg/cm^2 de la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, y a 40 kg/cm^2 , el cual es el valor que especifican las NTC de mampostería del RCDF (NTCM, 2004) para un mortero típico II; por su parte, el concreto utilizado en los castillos y dalas de los muros, registró una resistencia a la compresión promedio de 150 kg/cm^2 , que corresponde a la mínima señalada en la norma vigente (NTCM, 2004).

Los muros de las viviendas fueron diseñados y construidos como elementos estructurales, con base en las normas mexicanas, específicamente las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería y para Diseño por Sismo (NTCM, 2004). Para ello, se consideró la ubicación de Ocuilapa de Juárez en la zona sísmica «C» de alto riesgo, de acuerdo con la regionalización sísmica de México (CFE, 1993), y el tipo de suelo del área de estudio.

Figura 7. Estructura de los prototipos de vivienda; corte transversal



A continuación, se describe la estructuración de los prototipos de las viviendas cuya construcción concluyó en agosto de 2008; los detalles específicos están descritos en el Manual para la Autoconstrucción de Viviendas y Servicios Sanitarios (Escamiroso *et al.*, 2016).

2.3 Estructura de los prototipos

Los cimientos se construyeron con mampostería de piedra extraída en áreas circundantes a la edificación y fue juntada con mortero a base de cemento y arena del lugar con proporción 1:4, con una resistencia a la compresión simple promedio de 92.30 kg/cm². Esta resultó superior a la mínima resistencia

establecida en la NTCM 2004 (40 kg/cm^2) e inferior a la máxima (125 kg/cm^2). De acuerdo a dichas normas, en cimientos de mampostería la pendiente de las caras inclinadas, medida desde la arista de la dala o muro, no debe ser menor que 1.5 (vertical) : 1 (horizontal). Sin embargo, en la zona es común encontrar cimientos con forma de prisma rectangular (sin escarpíos), por lo que la sección empleada en la cimentación de las viviendas fue rectangular, de 40 cm de ancho, con una profundidad variable según la topografía del sitio de la obra.

En el proceso constructivo, se realizó el anclaje del acero de refuerzo vertical en los castillos de las esquinas y en las intersecciones de muros; asimismo, sobre el cimiento se colocó una dala o cadena de desplante con una sección de $15 \times 20 \text{ cm}$, concreto de 150 kg/cm^2 y refuerzo con ARMEX $10 \times 15 \times 4$ " (figura 7).

Los muros se construyeron con base en la norma (NTCM, 2004), reforzando los bloques huecos, con barras de acero tanto en el sentido vertical como horizontal. El refuerzo vertical (castillos), situado en las esquinas de los muros ocupó tres celdas del bloque, y cuatro en las intersecciones. Además, se reforzaron dos celdas consecutivas en los extremos de las aberturas de puertas y ventanas. En los casos de muros sin aberturas (puertas o ventanas), se colocó una varilla de $3/8$ " y se rellenó la celda con mortero a cada 75 cm. El refuerzo utilizado fue con varillas de acero corrugado DA-42 con $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ y concreto fabricado *in situ* con arena del lugar con un $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ (figuras 8 y 9).

Las techumbres se construyeron a dos aguas, con estructura de madera del lugar; se colocaron polines $10 \times 10 \text{ cm}$ en los remates de los muros perimetrales externos, incluyendo los muros de cumbrera, que sirvieron de apoyo a los barrotes de $5 \times 10 \text{ cm}$, con la finalidad de reducir las posibles deformaciones de la madera y ofrecer mayor seguridad.

Figura 8. Construcción de los muros reforzados



Figura 9. Refuerzo horizontal intermedio



3. ANÁLISIS DE LOS PERIODOS DE VIBRACIÓN DE LOS PROTOTIPOS DE VIVIENDA

Los trabajos de campo se realizaron en Ocuilapa de Juárez en dos prototipos de viviendas (V1 y V2), habitadas por las familias seleccionadas de bajos ingresos económicos. Las mediciones acelerométricas iniciaron el 3 de octubre de 2014, procediéndose a realizar el estudio correspondiente para determinar los períodos de vibración fundamentales de la estructura y del suelo. El equipo utilizado fue un acelerómetro Episensor triaxial y una grabadora Altus K2, ambos de kinematics. A partir de los resultados obtenidos, se efectuaron los análisis necesarios para determinar las propiedades dinámicas estructurales (figuras 10 y 11).

Figura 10. Ubicación de vivienda V1



Figura 11. Fotografía satelital de la ubicación de V1 y V2



Fuente: Cortesía de Google Maps©, 2010

La vivienda V1, con coordenadas geográficas: $16^{\circ}51'28.99''$ N y $93^{\circ}24'53.62''$ O, se localiza en la calle 16 de septiembre y es propiedad de Crescencio Pérez Pérez. La vivienda se construyó hace aproximadamente seis años. La vivienda V2, con coordenadas geográficas: $16^{\circ}51'30.52''$ N y $93^{\circ}24'43.96''$ O, se localiza en la calle Ignacio Allende y su propietaria es Norbel Jiménez Pérez (figuras 10 y 12).

Figura 12. Ubicación de la vivienda V2



Figura 13. Colocación del sensor en P3 de V2



La figura 13 muestra la colocación del acelerógrafo en la vivienda V2 en el punto indicado P3, el cual corresponde al centro geométrico. Los registros obtenidos fueron en tres direcciones ortogonales de 30 segundos de duración y los resultados logrados en el análisis realizado, permitieron establecer que los períodos de vibración fundamental en promedio por vivienda, son los siguientes: Vivienda V1 con 0.1280 segundos y vivienda V2 con 0.1067 segundos; el correspondiente del suelo en las zonas analizadas: V1 con 0.1164 segundos y V2 con 0.1219 segundos.

Las figuras 14 y 15 muestran las ubicaciones del sensor de aceleraciones en la estructura de cada vivienda (P2, P3 y P4) y en el campo libre (P1; suelo).

Figura 14. Ubicación del sensor de la vivienda V1

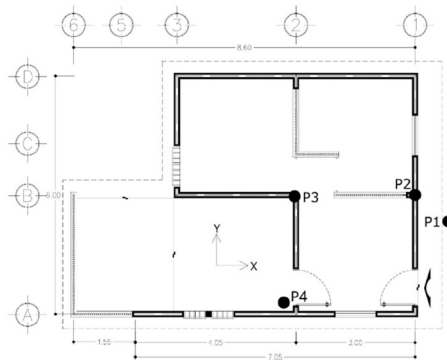
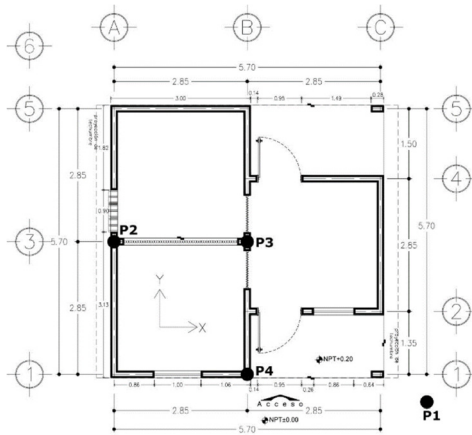


Figura 15. Ubicación del sensor de la vivienda V2



A continuación, las figuras 16 y 17, muestran las funciones de transferencia en cada vivienda; la función continua corresponde a la dirección corta de la

vivienda (x), y la función punteada para la función larga (y). Estas funciones se obtuvieron al dividir los espectros de Fourier calculados de los registros acelerométricos en el centro de cada vivienda (punto P3), entre los de suelo (punto P1). La relación de ambos registros permite establecer cómo se amplifica la respuesta en el punto P3 respecto al punto P1. En las figuras se resaltan las frecuencias que generan mayor amplificación de la respuesta espectral. En seguida, se determinó la Función de Transferencia, o razón espectral, empleando la técnica de Nakamura (1989) y el procedimiento para la determinación de las funciones de transferencia sugerido por Lermo y Chávez-García (1994). Finalmente, sobre los gráficos de las funciones de transferencia de las viviendas V1 y V2 se indican las frecuencias que, de acuerdo a la técnica aplicada, representan respectivamente las frecuencias fundamentales de vibración para dichas viviendas, de 7.81 Hz (0.128 s) y 9.3 Hz (0.1067 s). Es importante notar que de acuerdo a Lermo (1994), los valores del período fundamental de las estructuras no necesariamente corresponden a la cresta de mayor amplitud, sino que dependen de la forma que éstas tomen.

Figura 16. Función de transferencia de la vivienda V1 (Línea continua-X, discontinua-Y).

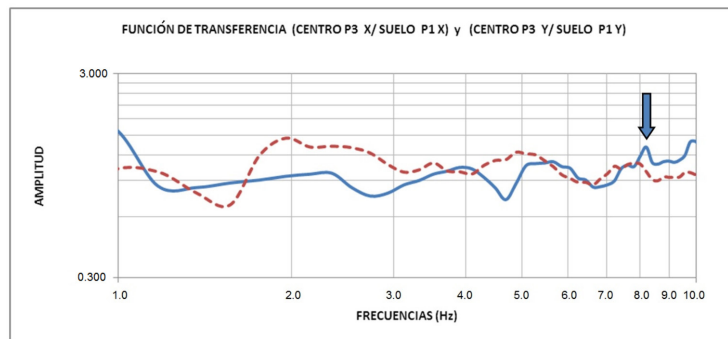
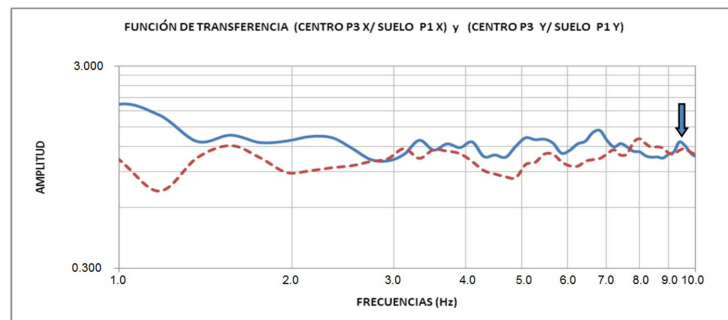


Figura 17. Función de transferencia de la vivienda V2 (Línea continua-X, discontinua-Y).



4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL

Los resultados obtenidos demuestran que el período fundamental promedio de la vivienda V2, con 0.1067 segundos, se sitúa dentro del rango recomendable para una vivienda considerada estructuralmente sana, entre 0.08 a 0.12 segundos, parámetro establecido en 1979 por Hernández, *et al.*, y por Arroyo, *et al.*, en 2010; ambos estudios para instrumentaciones realizadas en viviendas del estado de Guerrero, México. Por otra parte, la vivienda V1 con 0.1280 segundos, se encuentra ligeramente por encima de ese rango. Es importante aclarar que estos valores son una generalización indirecta de la rigidez del sistema estructural. Deben utilizarse elementos adicionales para poder afirmar si la vulnerabilidad es baja o no, sobre todo, cuando el periodo de la construcción y del suelo son similares. Sin embargo, en este trabajo los períodos detectados en ambas viviendas se tomaron como parámetros indicativos de la existencia de una densidad de muros adecuada en las viviendas.

Con la intención de confirmar los resultados obtenidos en la evaluación de las propiedades dinámicas de la vivienda V1, debido a que registró un período alto, se aplicó una alternativa para conocer el aporte de la resistencia de los muros ante acciones sísmicas, con base en las características geométricas y físicas del prototipo. Para ello, se realizó el análisis sísmico en la estructura de la vivienda, a partir del método de análisis estático, aplicable a edificaciones con altura menor de 30 m, y que consiste en calcular la fuerza lateral actuante en el centro de masa de la vivienda, que a su vez producirá el efecto equivalente a la acción sísmica. Dicho análisis no considera los efectos de torsión, y sólo puede aplicarse cuando las excentricidades son menores al 10%, pues desprecia las deformaciones por cortante (CFE, 2008).

Las tablas 1 y 2, presentan los resultados del análisis de la carga total existente en la vivienda (W_i) y la fuerza cortante actuante (V_a). La tabla 3, muestra los resultados de la revisión de cada eje estructural de la vivienda V1, y muestran que, de acuerdo al peligro sísmico especificado por el Manual de Obras Civiles (CFE, 1993) para la zona de estudio, los muros de mampostería tienen «baja vulnerabilidad», por lo que el grado de seguridad del prototipo de vivienda V1 es adecuado, y no requiere una evaluación detallada para un posible refuerzo estructural.

Tabla 1. Cálculo de la carga total de la vivienda V1; W_i .

Entre piso	Carga en cubierta				Muros de mampostería				F _c ⁽¹⁾	W _i
	Área	CM (Carga muerta)	CV (Carga viva)	W1 (Carga 1)	Am (Área muro)	H (Altura prom.)	P. V. (Peso volum.)	W2 (Carga 2)		
	m ²	kg/m ²	kg/m ²	ton	m ²	m	ton/m ³	ton		
1	52.16	56.74	20	4.00	3.68	2.70	1.50	14.92	1.10	ton
										20.82

Notas: (1) Factor de carga para combinación con carga sísmica (NTCM, 2004).

Tabla 2. Cálculo de la fuerza cortante actuante; F_i y V_a.

Entre piso	W _i	H _i ⁽¹⁾	WH	C/Q ⁽²⁾	F _i	V _a
	ton	m	ton-m		ton	ton
1	20.82	2.70	56.20	0.43	8.88	8.88
Suma	20.82		56.20			

Fuente: CFE, 1993 (Análisis sísmico-método estático)

Nota: (1) H = altura promedio de 2.70 m;

(2) C = 0.64 (Coeficiente sísmico, Zona C, Terreno tipo II; de acuerdo al Manual de Obras Civiles de la CFE (CFE, 1993).

Q = 1.5 (Factor de comportamiento sísmico en mampostería con bloques de concreto hueco con refuerzo interior); Parámetros q₁ a q₅, y S definen la geometría y condiciones físicas de la estructura por inspección visual (factores de corrección).

Tabla 3. Vulnerabilidad sísmica por eje.

Entre piso	Revisión en el eje X									Q _x = 1.5	Vulnerabilidad
	V _r ⁽³⁾ (ton)	V _a (ton)	V _r / V _a	S	K _i = S(V _r /V _a)	KQ ⁽¹⁾	KZ ⁽²⁾	Condición	Categoría		
1	46.50	8.88	5.24	0.41	2.14	3.22	0.64	KQ ≥ KZ	1	Baja	
Entre piso	Revisión en el eje Y									Q _y = 1.5	Vulnerabilidad
	V _r ⁽³⁾ (ton)	V _a (ton)	V _r / V _a	S	K _i = S(V _r /V _a)	KQ ⁽¹⁾	KZ ⁽²⁾	Condición	Categoría		
1	27.18	8.88	3.06	0.41	1.25	1.88	0.64	KQ ≥ KZ	1	Baja	

Notas: (1) Coeficiente resistente de la estructura.

(2) Coeficiente sísmico (CFE, 1993).

(3) En los análisis se consideró un esfuerzo cortante de diseño $v_m^* = 3.0 \text{ kg/cm}^2$, criterio para mampostería a base de bloques huecos juntas con mortero tipo II

Por otra parte, los períodos fundamentales del suelo en cada prototipo basados en los registros acelerométricos, resultaron de 0.1164 y 0.1219 segundos en las viviendas V₁ y V₂, respectivamente. Como se observa, los períodos fundamentales son bajos y confirman que la composición del suelo en la zona de estudio es de alta resistencia y baja compresibilidad. Sin embargo, es importante mencionar que los periodos del suelo y las

estructuras estudiadas son muy cercanos entre sí, lo cual puede no ser favorable durante la respuesta a una excitación sísmica intensa.

CONCLUSIONES

Los períodos fundamentales de vibración obtenidos en los prototipos de vivienda V1 y V2; 0.1280 y 0.1067 segundos, respectivamente, son aceptables para una estructuración nueva; no obstante, como el prototipo V1 rebasó ligeramente el rango de períodos en una vivienda estructuralmente sana, considerado entre 0.08 a 0.12 segundos como máximo. En esa vivienda se efectuó una revisión adicional que tuvo como propósito evaluar el aporte de la resistencia de los muros de mampostería y con ello, determinar la vulnerabilidad sísmica. Esta resultó «baja», lo cual indica que los muros tienen buena resistencia ante acciones sísmicas.

En conclusión, los resultados obtenidos en la evaluación del comportamiento sísmico realizada en los prototipos V1 y V2, indican que la eficiencia estructural en ambas viviendas es satisfactoria, lo que demuestra que los prototipos de vivienda construidos por las familias de bajos ingresos económicos de la comunidad de Ocuilapa de Juárez, a partir de una nueva propuesta con muros de bloques de concreto con tres celdas, elaborados con arena del lugar y reforzados con acero en el interior de acuerdo a la normatividad vigente (NTCM, 2004), están dentro del rango de seguridad estructural adecuada al verificarse que registran baja vulnerabilidad sísmica.

Sin duda, la eliminación de la arcilla contenida en la arena utilizada en la fabricación de los bloques huecos mejorará la resistencia a la compresión simple del mortero; sin embargo, el procedimiento de lavado para separar la arcilla requiere el uso abundante de agua, misma que es escasa en el banco de arena y su uso aumentaría el costo. Igualmente, adquirir arena de río de la ciudad de Ocozocoautla, localizada a 13 km de Ocuilapa de Juárez, significaría 100% más del costo de la arena del lugar. Es importante mencionar que durante las inspecciones visuales efectuadas, a ocho años de la construcción, no se observaron daños o degradación de los materiales empleados en la construcción de los muros de mampostería.

Por lo anterior, los prototipos presentados constituyen una buena opción que ejemplifica cómo puede incrementarse el nivel de confinamiento estructural en los muros de las viviendas de esa localidad. Siguiendo esta alternativa y difundiéndola, podría lograrse que los habitantes construyeran sus viviendas con mejores condiciones de seguridad. Otras de las particularidades que tienen los

prototipos son: El bajo costo de su construcción, por los materiales utilizados; y los procedimientos constructivos, de fácil ejecución.

Finalmente, la propuesta tecnológica que se plantea, podría contribuir a resolver la inseguridad estructural que presentan las viviendas con características similares. Su aplicación, por consiguiente, permitiría reducir el posible escenario de riesgo sísmico que pudiesen sufrir los habitantes de viviendas populares, constituidos por familias de bajos ingresos económicos que viven en comunidades rurales del estado de Chiapas, de México o de países Latinoamericanos.

AGRADECIMIENTOS

La investigación presentada, que incluye el estudio, la elaboración y la construcción de los prototipos de vivienda, fue financiada por el Fondo Mixto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del Gobierno Federal Mexicano, el Gobierno del estado de Chiapas (FOMIX-Chiapas) y la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Se agradece a todas las personas que participaron en la realización de esta investigación: Estudiantes y profesores integrantes y colaboradores del Cuerpo Académico Desarrollo Urbano (CADU-UNACH) de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, especialmente a Nguyen Molina Narváez, Bernardo O. Reyes de León y a Ernesto de Jesús Pérez Álvarez; asimismo, a Hermenegildo Peralta Gálvez, del Cuerpo Académico Riesgos Naturales y Geotecnología (CARNG) de la Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyo, R., Guinto, E., Sánchez, S., Corona, J.** (2010). Earthquake disaster mitigation through experimental and analytical studies on southern Mexican adobe houses located in urban areas. In "*Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events - COAST Action C26 Conference*", Federico Mazzolani (Ed.), Taylor & Francis, Londres, Reino Unido, pp. 1011-1016.
- Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo-Vélez, L., Crowley, H.** (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *ISET journal of Earthquake Technology*, 43(3), 75-104.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE)**(1993). *Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo*. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, (MOC-CFE-DS-1993), México, D.F., 439 pp.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE)** (2008). *Manual de diseño de obras civiles de Comisión Federal de Electricidad*. Diseño por sismo. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México, pp. 4-53, [Consultado el 28 de noviembre de 2014]: <http://es.scribd.com/doc/52197523/CFE-Sismo-08#scribd>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO)**(2007). *Índice de marginación a nivel local 2005*, México.
- Escamiroso, L., Mérida, A., Villers, R., Ocampo, M., Badillo, R., Pérez, L., Zebadúa, S., Stransky, F.** (2006). Informe técnico del proyecto de investigación: *Mejoramiento habitacional y saneamiento comunitario del Ejido Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozocoautla, Chiapas*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, financiado por la Universidad Autónoma de Chiapas.
- Escamiroso, L., Mérida, A., Villers, R., Badillo, R., Zebadúa, S., Pérez, L., Stransky, F., Maza, J., Del Carpio, C., Ocampo, M., López, A., Andrade, V., Álvarez, W., Molina, N., Linares, M.** (2006). *Propuesta de regeneración urbana, mejoramiento de la vivienda y saneamiento ambiental de la comunidad Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozocoautla, Chiapas*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 1ª. Ed., Universidad Autónoma de Chiapas, 194 pp.
- Escamiroso, L., Mérida, A., Ocampo, M., Zebadúa, S., López, A., Badillo, R., Molina, N., Del Carpio, C., Pérez, L., Linares, M., De la Torre, R., Reyes, B.** (2016). *Manual para la autoconstrucción de viviendas y servicios sanitarios en el medio rural. Caso de estudio: Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 1ª. Ed. versión impresa 2011, Universidad Autónoma de Chiapas, 203 pp. Versión digital 2016. http://textosdeinvestigacion.unach.mx/ebooksbd/20161218_201125/#/4/
- García A. y Suárez G.** (1996). *Los sismos en la historia de México*. 1ª. Ed., UNAM-CIESAS-FCE, México.

- Hernández, O., Meli, R., Padilla, M. (1979).** *Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas*, Proyecto 8167, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)(2010).** *Conteo de Población y Vivienda 2010*, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2013).** *Mapa digital de México*. [Consultado el 24 de enero de 2015]. <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm?c=423>
- Lermo, J., y Chávez-García, F. (1994).** Are microtremors useful in site response evaluation?. *Bulletin of the seismological society of America*, 84(5), 1350-1364.
- Moya, V. (1988).** *La vivienda indígena de México y el mundo*, 3ª. Ed., UNAM, México.
- Nakamura, Y. (1989).** A Method For Dynamic Characteristics Estimation of Surface Using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of Railway Tech Res. Inst.*, 30, pp. 35-33.
- NTCM (2004).** Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Gobierno del Distrito Federal, México, 6 de octubre de 2004, pp. 4-53.
- NTC (2004).** Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Gobierno del Distrito Federal, México, 6 de octubre de 2004, 28 pp.
- NMX-C-404-ONNCE-2012.** Norma Mexicana. *Industria de la Construcción –Mampostería– Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones para Uso Estructural – Especificaciones y Métodos de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación. Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 2012.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2012).** Normativa para la Infraestructura del Transporte. *Características de los Materiales. Materiales para Estructuras. Materiales para Mampostería. 002 Bloques de Cemento, Tabiques y Tabicones. N-CMT-2-01-002/02*. [Consultado el 8 de julio de 2016]. <http://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#002>
- Tesfamarian, S., y Goda, K. (Eds.) (2013).** *Handbook of seismic risk analysis and management of civil infrastructure systems*. Elsevier.