

Seismic evaluation for two rural housing prototypes Built with hollow concrete blocks, in Ocuilapa of Juárez, Chiapas, Mexico

Evaluación sísmica en dos prototipos de vivienda rural construidos con bloques de concreto hueco, en Ocuilapa de Juárez, Chiapas, México

L. Escamirosa ^{1*}, M. Ocampo *, C. Del Carpio *, R. Arroyo **

* Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas. MÉXICO

** Universidad Autónoma de Guerrero, Guerrero. MÉXICO

Fecha de Recepción: 03/06/2017

Fecha de Aceptación: 27/09/2017

PAG 29-40

Abstract

In the rural areas of Mexico and Latin America, prevails the people of low income, living in unsafe and unhealthy, precarious housing that anchored 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 were built by families living in conditions of high marginalization in the town of Ocuilapa Juárez, Chiapas. The construction used materials in the place; the foundation stone, sand with high clay content (22%) in the preparation of hollow concrete block 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 values recommended by (Hernández et al., 1979), for structurally sound homes. Also, the analyses carried out prove that dwellings are in "low vulnerability" in the presence of some earthquakes.

Keywords: Housing prototype, rural housing, blocks of sand soil cement, seismic vulnerability, earthquake

Resumen

En el medio rural de México y Latinoamérica, prevalece la población de bajos ingresos económicos que habita en viviendas precarias, inseguras e insalubres, que anclan 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 vivienda 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 acelerógrafos 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 recomendados por (Hernández et al., 1979), para viviendas estructuralmente sanas. También, los análisis efectuados comprueban que las viviendas están en condición de "vulnerabilidad baja" ante la presencia de sismos de cierta magnitud.

Palabras clave: Vivienda prototipo, vivienda rural, bloques de arena-suelo-cemento, vulnerabilidad sísmica, sismos

1. Introducción

En el medio rural del estado de Chiapas y en otras entidades de México, se observan viviendas construidas con madera, carrizo, palma, piedra y tierra, entre otros 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 desecho (plásticos, láminas metálicas, etc.). La población de las comunidades rurales en condición social de pobreza y pobreza extrema, generalmente se aloja en viviendas de este tipo, sin embargo, en la mayoría de los casos se encuentran en estado precario, es decir, presentan 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 impide su desarrollo económico y social.

En consecuencia con lo anterior, la búsqueda de soluciones que atiendan el problema de vivienda de las familias de bajos ingresos económicos, ha orientado las investigaciones que realiza este grupo de trabajo, a partir de análisis y construcciones 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. Con las propuestas, se ha tratado de 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, localizada 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, México (Ver la Figura 1). La localidad cuenta con 3,921 habitantes y 955 viviendas (INEGI, 2010) y (INEGI, 2013). Y, de acuerdo con las cifras del Consejo Nacional de Población, en 2007, la población mayoritariamente realiza 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 (CONAPO, 2007).

¹ Autor de correspondencia:

Facultad de Arquitectura. Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas.
México
E-mail: franco@unach.mx



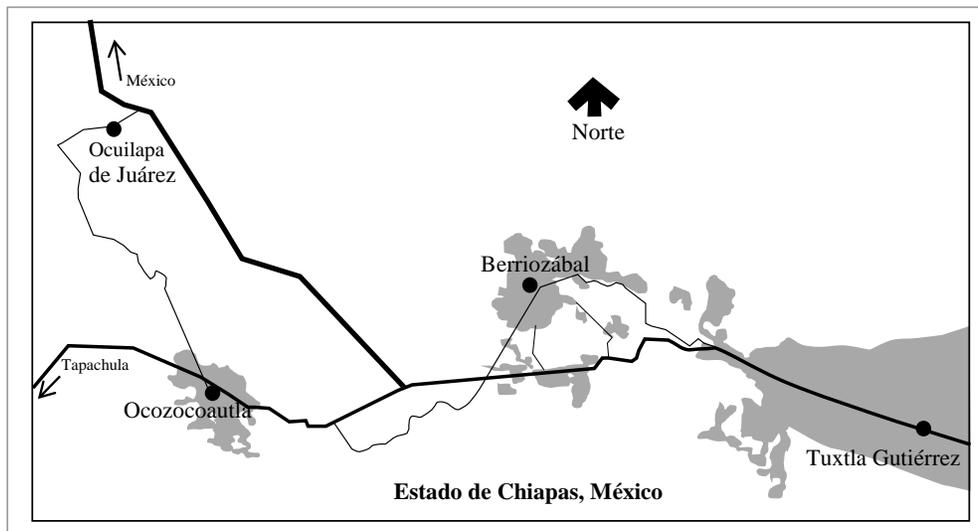


Figura 1. Localización de Ocuilapa de Juárez, Municipio de Ocozocoautla, Chiapas

Las viviendas de la comunidad, predominantemente están hechas con cimentación de mampostería de piedra del lugar; muros construidos a base de bloques huecos de concreto con dos celdas, con acero de refuerzo vertical sólo en las esquinas e intercepciones sin considerar los vanos de puertas o ventanas, y refuerzo horizontal en el desplante y cerramiento; las techumbres tiene una estructura de madera que soporta la cubierta de teja de barro o lámina de zinc. En general, en las construcciones se observan procedimientos constructivos inadecuados, insuficiente acero de refuerzo, uso de arena del lugar con alto porcentaje de arcilla (22%), entre otros aspectos que derivan en la presencia de considerables fisuras y grietas en los muros y hacen vulnerable la seguridad estructural de las viviendas.

Los prototipos de vivienda propuestos fueron construidos por familias de bajos ingresos de la localidad, entre 2007 y 2008, y se utilizaron los materiales existentes del lugar; asimismo, se consideró las técnicas comúnmente empleadas por los habitantes: 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. El propósito principal fue construir viviendas de bajo costo y mejorar sus elementos estructurales para aumentar la seguridad, con base en las normas técnicas (Escamirosa et al., 2008).

Si bien, la estructura de las viviendas mejoró considerablemente, la resistencia promedio a la compresión de los bloques de tres celdas, obtenida en el laboratorio, fue de 19.30 kg/cm², que resulta inferior a la resistencia mínima establecida en las normas técnicas (40 kg/cm²); no obstante, la resistencia a la compresión promedio del concreto para los castillos y las cadenas, alcanzó la mínima establecida de 150 kg/cm². La baja resistencia a la compresión registrada en los bloques, es consecuencia del alto contenido de arcilla en la arena del lugar (22%), utilizada en la elaboración del concreto (Escamirosa et al., 2011). En este sentido, es indiscutible técnicamente que la eliminación de la arcilla en la arena utilizada mejoraría sustancialmente la resistencia del concreto; sin embargo, el agua utilizada para el lavado de la arena o

adquirir arena limpia de otro lugar, incrementaría el costo de la obra. Al respecto, el equipo de trabajo decidió emplear los materiales comúnmente utilizados por la comunidad durante la construcción de las viviendas.

En este trabajo se presenta el análisis realizado en dos prototipos de vivienda construidos en Ocuilapa de Juárez, para determinar el nivel de vulnerabilidad ante posibles escenarios sísmicos. Para ello, se efectuaron mediciones en cada vivienda con acelerógrafos (sensores de aceleración) y se determinaron los periodos fundamentales de vibración, los cuales se encuentran en el rango de valores recomendado por (Hernández et al., 1979), correspondiente a viviendas estructuralmente sanas. También, se realizaron análisis para comprobar que las viviendas están en la condición de "baja vulnerabilidad" ante la presencia de sismos de cierta magnitud.

2. Antecedentes

Estudios previos realizados en la localidad (Escamirosa et al., 2006), proporcionaron información que permitió identificar las características, los materiales utilizados y las condiciones de los elementos estructurales existentes en 486 viviendas en la localidad de Ocuilapa de Juárez. Los resultados obtenidos registran que en los pisos predomina el firme de cemento pulido con 70.37%, en comparación de la tierra con 16.67%. Los muros, 79.42% están construidos con bloques de concreto hueco con dos celdas, en comparación al tabicón que registró 9.05%; y el restante 11.53% de las viviendas utilizan: madera, adobe y bajareque, que corresponden a construcciones vernáculas, e incluso materiales de desecho como cartón y lámina. En relación a la techumbre, 41.14% de las viviendas usan lámina galvanizada, en comparación con 35.18% que tiene concreto y 20.57% con teja de barro de la región. También, en inspecciones de campo se examinaron específicamente las viviendas construidas con materiales percederos (madera y cartón), así como las que tienen piso de tierra, materiales de desecho y las edificadas a la usanza ancestral con muros de adobe tradicional, a base de barro y paja, o bajareque, que según (Moya, 1988), están construidos

con hileras de horcones de madera hincados en el suelo que forman las paredes y entre éstos se coloca un entramado de varas entretejidas, que después se rellenan por ambos lados con aplanado de barro, mezclado con zacate o paja; ambos tipos de vivienda con valor cultural e histórico en la región. Todas las viviendas descritas, están en muy mal estado de conservación y presentan condiciones inseguras e insalubres.

Por otra parte, los elementos estructurales de las viviendas construidas con muros a base 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, por las siguientes condiciones, la estructura no garantiza la seguridad para sus ocupantes.

Del total de las viviendas, 62% tienen una cimentación de mampostería con piedra del lugar y el resto de concreto reforzado. De acuerdo con el tipo de suelo rocoso de la zona, ambos elementos son adecuadas; sin embargo, 79.42% de las viviendas están construidas con muros de bloques de concreto hueco con dos celdas y 30.55% de éstas presentan grietas, a consecuencia que los muros sólo cuentan con acero de refuerzo vertical en las esquinas y horizontal en los vanos de puertas y ventanas, es decir, no tienen reforzamiento en el interior de las celdas, con base en las normas técnicas. En forma simultánea, se realizaron análisis de laboratorio para determinar la resistencia de los bloques huecos de concreto, comúnmente fabricados por los habitantes de Ocuilapa de Juárez con arena del lugar, obtenida del banco de arena "El Arenal" localizado a 4 km de la localidad, que tiene un costo de 50% menos respecto a la arena de río, pero con alto contenido de suelo (22% de arcilla). Los resultados demuestran que la resistencia a la compresión simple es 2.5 veces inferior a la establecida en la norma (Resistencia del bloque hueco a la compresión = 16 kg/cm²; Resistencia mínima normada = 40 kg/cm²; NTC, 2004) (Escamiroso et al., 2006).

Las condiciones anteriores advierten que los bloques de concreto fabricados por los habitantes no cumplen con la resistencia mínima normada y en consecuencia, los muros de las viviendas son vulnerables ante los efectos sísmicos, frecuentes en el estado de Chiapas, debido a que se localiza en zonas con elevada actividad sísmica, resultado de la

subducción de la placa tectónica de Cocos bajo la placa de Norteamérica (García y Suárez, 1996). Por lo anterior, existe riesgo que los daños identificados en los muros de las viviendas, se agudicen y colapsen parcial o totalmente como resultado de movimientos telúricos de cierta magnitud.

Durante el período de 2006 y 2008, a través de proyectos de investigación financiados por el Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del estado de Chiapas (FOMIX-Chiapas), así como por el Sistema Institucional de Investigación de la Universidad Autónoma de Chiapas, se construyeron 4 prototipos de vivienda para la comunidad de Ocuilapa de Juárez (Escamiroso et al., 2008). En el diseño de los espacios y elementos funcionales de las viviendas, se consideró contar con la participación de las familias seleccionadas, para conocer sus opiniones respecto a las propuestas en relación a los usos y costumbres, la imagen y tipología de la comunidad, el ambiente natural, entre otros aspectos (Figura 2).

En la construcción de los muros, se utilizó una nueva propuesta de bloque de concreto con tres celdas que incluyó la colocación de acero de refuerzo en el interior. Las dimensiones de los bloques y las características del refuerzo se establecieron con base en las normas técnicas complementarias (NTC, 2004).

Los materiales para la construcción de las viviendas fueron los de uso común de los habitantes de la comunidad y en todo el proceso de autoconstrucción de viviendas, las familias seleccionadas recibieron asistencia técnica del equipo de trabajo y de los estudiantes de la carrera de arquitectura. Se impartieron cursos de capacitación, se ofreció asesoría técnica, seguimiento y control de calidad de los elementos. 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, provocó una resistencia promedio a la compresión de 19.30 kg/cm², 50% inferior a la establecida en la norma (NTC, 2004); por su parte, el concreto utilizado en las cadenas y en los castillos de los muros, obtuvo una resistencia a la compresión de 150 kg/cm², que corresponde a la mínima señalada en la norma (Escamiroso et al., 2011).

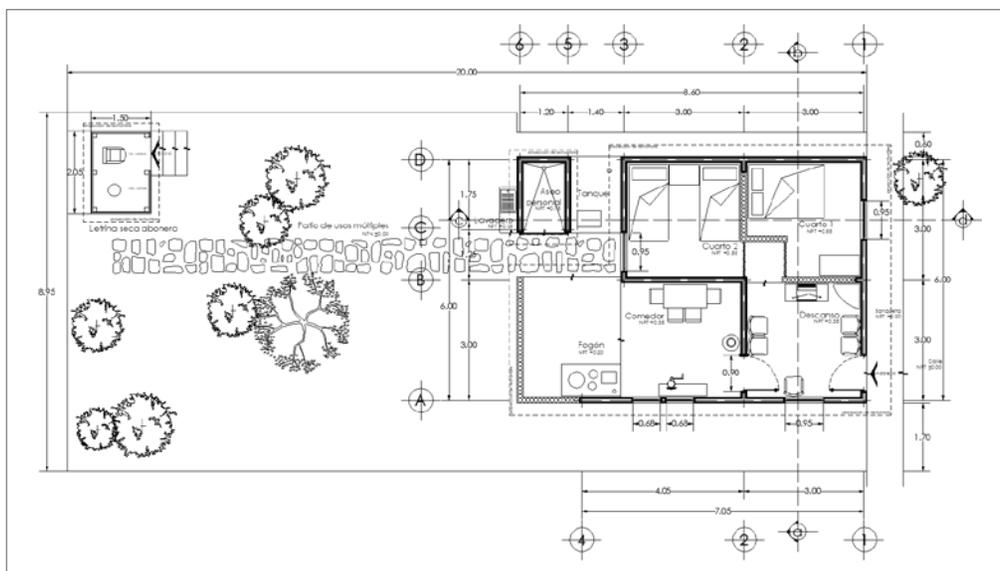


Figura 2. Planta arquitectónica de un prototipo de vivienda rural (Escamiroso et al., 2011)

3. Características de los prototipos

Los elementos estructurales de los prototipos de vivienda fueron diseñados y construidos con base en las normas mexicanas, específicamente las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería y para Diseño por Sismo (NTC 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 del país (CFE 2008) y el tipo de suelo rocoso del área de estudio. A continuación, se describe la estructuración de los prototipos de las viviendas cuya construcción concluyó en agosto de 2008; con la observancia que los detalles específicos están descritos en el Manual para la Autoconstrucción de Viviendas y Servicios Sanitarios (Escamirosa et al., 2011).

Los cimientos son de mampostería elaborada con piedras extraídas en áreas circundantes a la construcción y asentada con mortero cemento-arena del lugar, con una sección rectangular de 40 cm de ancho y una profundidad variable según la topografía del sitio de la obra; asimismo, en el proceso constructivo se realizó el anclaje del acero de refuerzo vertical de los castillos y sobre el cimiento se colocó una cadena de desplante de concreto reforzado con una sección de 15x20 cm.

Los muros se construyeron con mampostería de bloque de concreto de 15x19x40 cm, hueco con tres celdas (sección de celda 9.67x9.67 cm), reforzados con acero al interior tanto en el sentido vertical como horizontal y distribuido a lo alto y largo de los muros, de acuerdo con la norma (NTC 2004)(Figura 3).

Los castillos en los extremos de muros ocupan tres celdas y con cuatro en las intersecciones de muro, además con dos celdas consecutivas en los extremos de las aberturas de puertas y ventanas, y en el caso de muros sin aberturas por puertas o ventanas, se colocó una varilla de 3/8" de acero a cada 75 cm con una celda; el refuerzo utilizado fue con varillas de acero corrugado con $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ y el concreto de $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$, fabricado in situ con arena del lugar.

Por último, las techumbres se construyeron a dos aguas, con estructura de madera del lugar; se colocaron polines 10x10 cm en los remates de los muros perimetrales externos, incluyendo los muros de cumbrera, que sirven de apoyo a los barrotes de 5x10 cm instalados a cada 70 cm, mismos que soportan las fajillas de madera de 2.5x10 cm fijadas a cada 35 cm, de acuerdo al tamaño de la teja de barro cocido de la región tipo colonial de 16x18x46 cm; además, se colocaron barrotes de 5x15 cm al centro del claro y en sentido perpendicular a los barrotes, con la finalidad de reducir las deformaciones de la madera y ofrecer mayor seguridad.

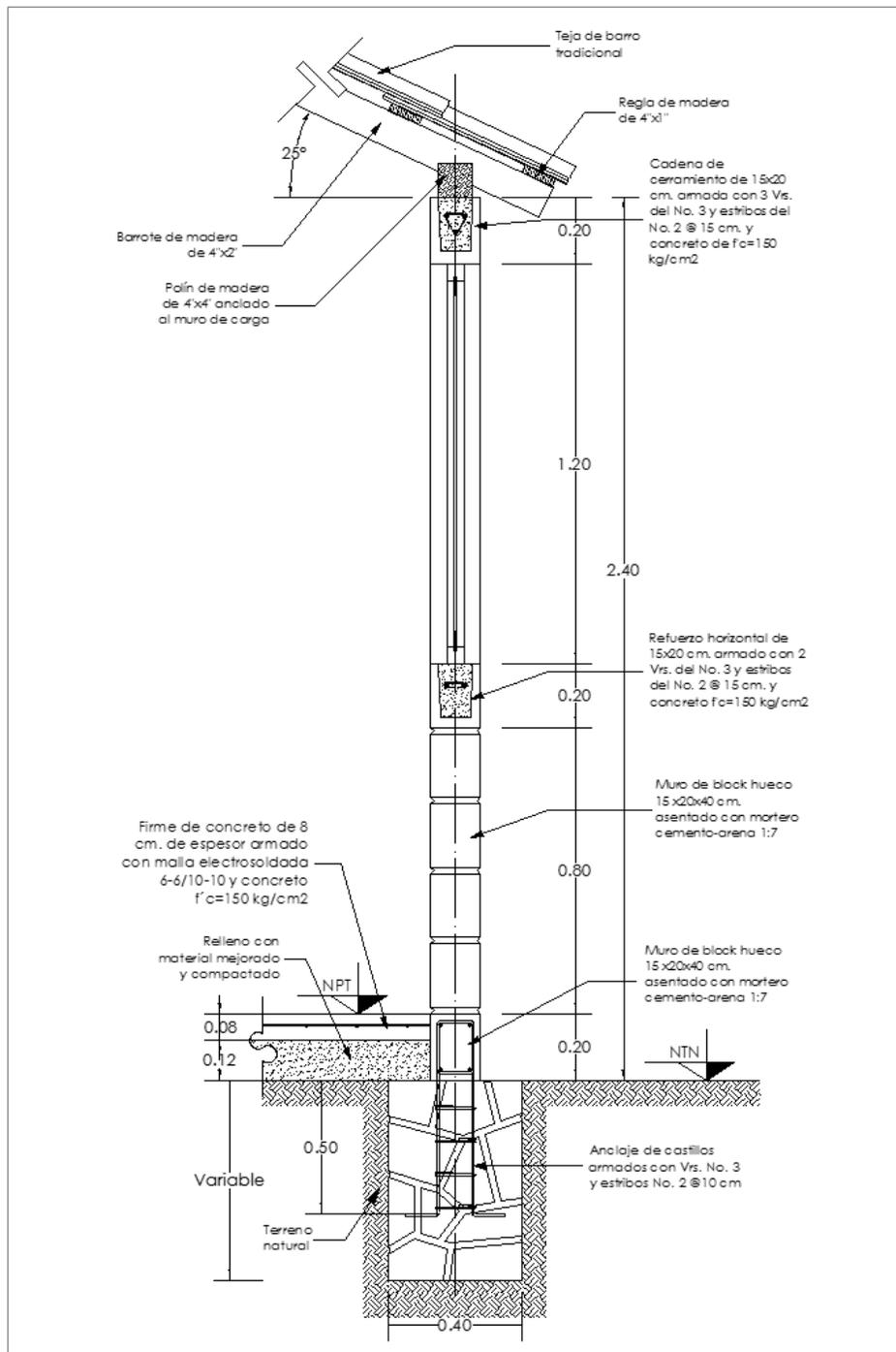


Figura 3. Estructura de los prototipos de vivienda; corte transversal (Escamirosa et al., 2011)

4. Resultados del análisis de los prototipos de vivienda

Los trabajos de campo se realizaron en Ocuilapa de Juarez en dos de las viviendas seleccionadas (V1 y V2), de acuerdo con la condición de bajos ingresos económicos de los habitantes (INEGI, 2010) y (INEGI, 2013). 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 sensor acelerográfico y a partir de los resultados obtenidos, se efectuaron los análisis necesarios para determinar las propiedades dinámicas estructurales.



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 del Sr. Crescencio Pérez Pérez. La vivienda se construyó hace aproximadamente 6 años (Figura 4 y Figura 5). 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 la Sra. Norbel Jiménez Pérez (Figura 5 y Figura 6).

La Figura 7 muestran la colocación del acelerógrafo en la vivienda V2 en el punto indicado P3, que corresponde al centro geométrico. Los registros obtenidos fueron en tres

direcciones ortogonales de 30 segundos de duración. Los resultados logrados en el estudio realizado, establecen 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; también, el correspondiente del suelo en las zonas analizadas: V1 con 0.1164 segundos y V2 con 0.1219 segundos.

La Figura 8 y La Figura 9 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 4. Ubicación de vivienda V1 (Reyes B., 2015)



Figura 5. Fotografía satelital de la ubicación de V1 y V2 (Cortesía de Google Maps©, 2010)

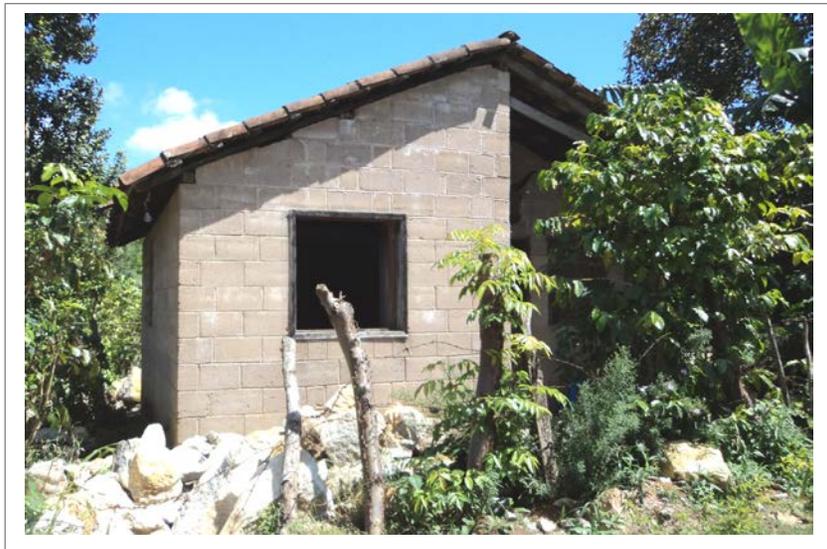


Figura 6. Ubicación de la vivienda V2 (Reyes B., 2014)



Figura 7. Colocación del sensor en el centro geométrico P3 de V2 (Reyes B.O., 2014)

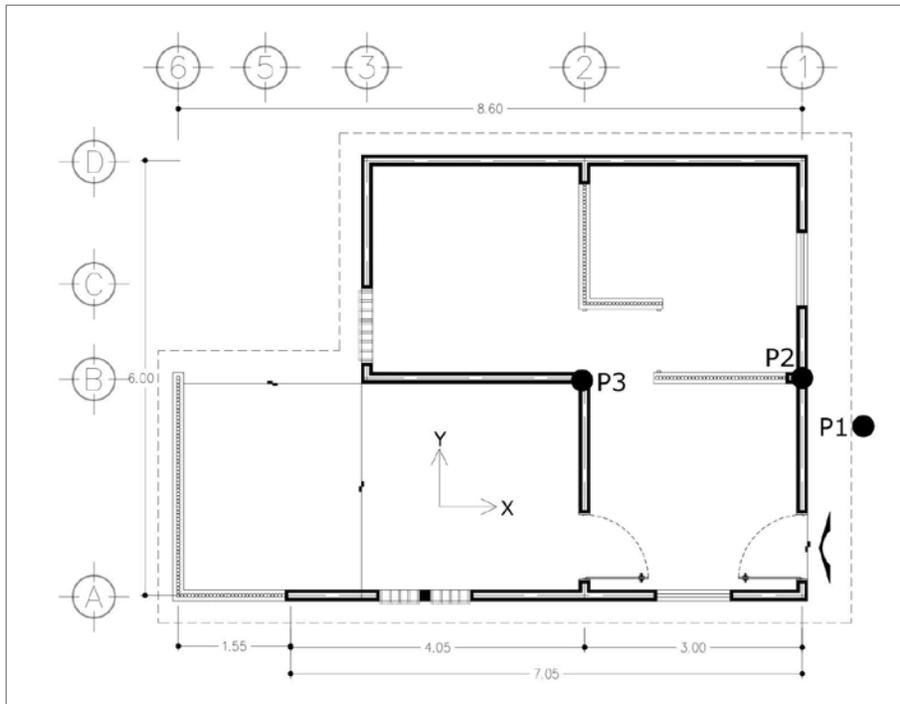


Figura 8. Ubicación del sensor de la vivienda V1

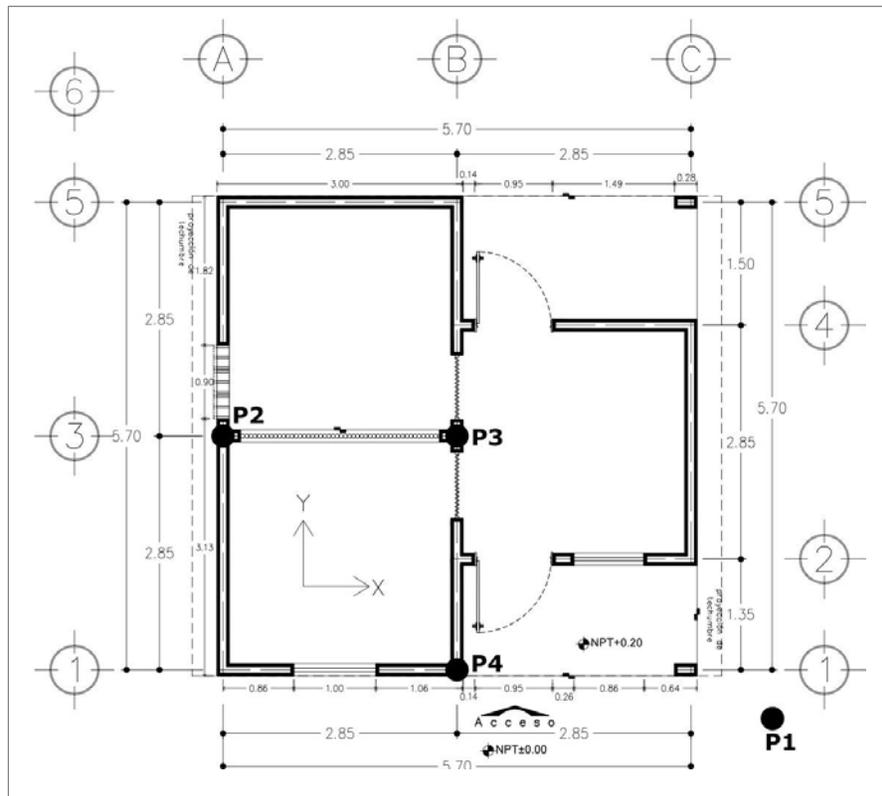


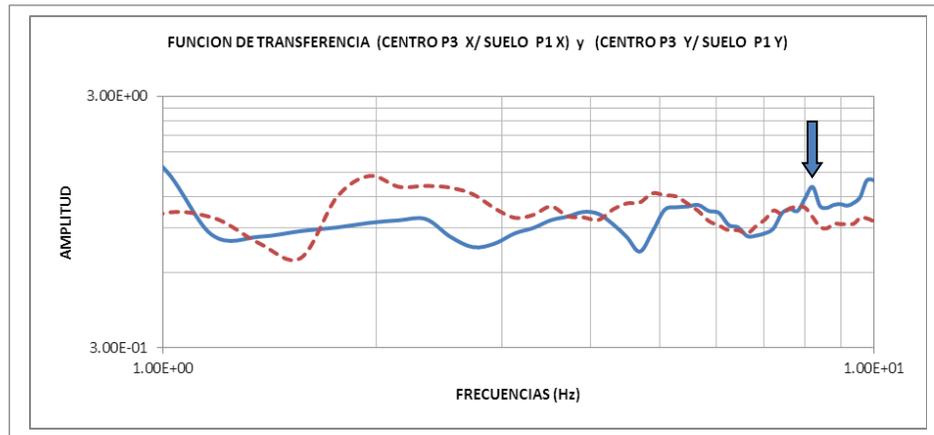
Figura 9. Ubicación del sensor de la vivienda V2

SPANISH VERSION.....

El Gráfico 1 y el Gráfico 2, 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

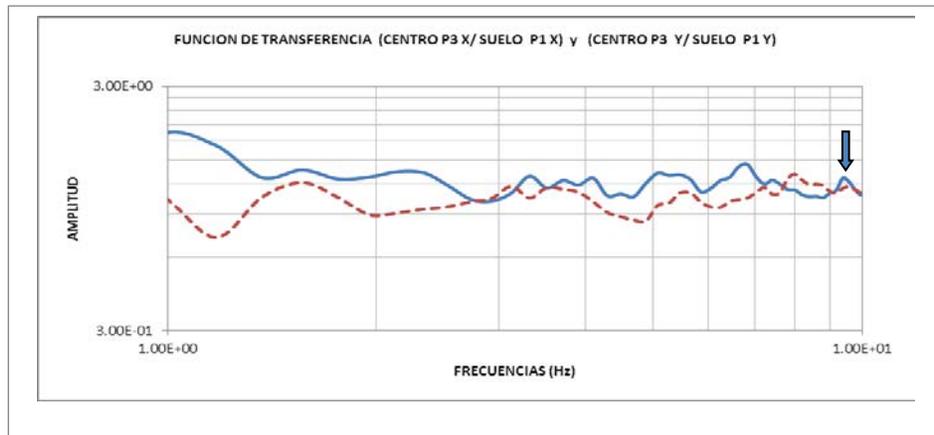
registros permite establecer cómo se amplifica la respuesta en el punto P1 respecto al punto P3. En las gráficas se resaltan las frecuencias que generan mayor ampliación de la respuesta espectral. En seguida, se determinó la Función de Transferencia, o razón espectral, empleando la técnica de (Nakamura, 1989).

Gráfico 1. Función de transferencia de la vivienda V1



Nota: Línea continua-X, discontinua-Y.

Gráfico 2. Función de transferencia de la vivienda V2



Nota: Línea continua-X, discontinua-Y.

5. Discusión de los resultados de la evaluación estructural

Los resultados obtenidos demuestran que el período fundamental promedio de la vivienda V2, con 0.1067 segundos, cumple con el rango recomendable para una vivienda considerada sana estructuralmente, entre 0.08 a 0.12 segundos, establecido por (Hernández et al., 1979) en estudios obtenidos en instrumentaciones realizadas en viviendas del estado de Guerrero, México, en 1979, y por (Arroyo et al., 2010); sin embargo, se observa que la vivienda V1 con 0.1280 segundos, se encuentra por encima de ese rango.

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. En este sentido, se realizó el análisis sísmico en la estructura de la vivienda, a partir del método de análisis estático, aplicable a edificaciones cuya altura sea 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 (CFE, 2008).



La Tabla 1 y Tabla 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 obtenidos en la revisión de cada eje estructural de la vivienda V1, que indican que los muros de mampostería

tienen baja vulnerabilidad, por lo cual se considera que el grado de seguridad del prototipo de vivienda V1 es adecuado, y no requiere una evaluación detallada para un posible refuerzo estructural a corto plazo.

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	20.82

Nota: ⁽¹⁾ Factor de carga para combinación con carga sísmica (NTC, 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, 2008 (Análisis sísmico-método estático).

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

⁽²⁾ C = 0.64 (Coeficiente sísmico, Zona C, Terreno tipo II).

Q = 1.5 (Comportamiento sísmico en mampostería con bloques de concreto hueco con refuerzo interior); Parámetros q_1 a q_5 , y S definen la geometría y condiciones físicas de la estructura por inspección visual (factores de corrección).

Tabla 3. Vulnerabilidad sísmica por eje

Revisión en el eje X										$Q_x = 1.5$
Entre piso	V_r (ton)	V_a (ton)	V_r/V_a	S	$K_i = S(V_r/V_a)$	$KQ^{(1)}$	$KZ^{(2)}$	Condición	Categoría	Vulnerabilidad
1	46.50	8.88	5.24	0.41	2.14	3.22	0.64	$KQ \geq KZ$	1	Baja
Revisión en el eje Y										$Q_y = 1.5$
Entre piso	V_r (ton)	V_a (ton)	V_r/V_a	S	$K_i = S(V_r/V_a)$	$KQ^{(1)}$	$KZ^{(2)}$	Condición	Categoría	Vulnerabilidad
1	27.18	8.88	3.06	0.41	1.25	1.88	0.64	$KQ \geq KZ$	1	Baja

Nota: ⁽¹⁾ Coeficiente resistente de la estructura.

⁽²⁾ Coeficiente sísmico (NTC, 2004).

6. Conclusiones

Los períodos fundamentales de vibración obtenidos de las viviendas V1 y V2; 0.1280 y 0.1067 segundos, respectivamente, son aceptables para una estructuración nueva; sin embargo, como la vivienda V1 rebasó ligeramente el rango de períodos en una vivienda estructuralmente sana, considerado entre 0.08 a 0.12 segundos como máximo, de acuerdo con (Hernández et al., 1979), 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 de la vivienda, que resultó de "Vulnerabilidad baja", lo cual indica que los muros tienen buena resistencia ante acciones sísmicas y no existe riesgo en el prototipo de vivienda V1.

De igual forma, se obtuvieron registros acelerométricos para determinar los períodos fundamentales del suelo en cada prototipo, que resultaron de 0.1164 y 0.1219 segundos, en las viviendas V1 y V2, respectivamente. Como se observa, los períodos fundamentales del suelo son bajos y confirman que la composición del suelo en la zona de estudio es rocosa, con alta resistencia y baja compresibilidad.

En conclusión, los resultados de las evaluaciones realizadas en los prototipos, indican que la eficiencia estructural en ambas viviendas es satisfactorio; asimismo, durante las inspecciones visuales efectuadas, no se observaron daños o degradación de los materiales empleados en la construcción de los muros de mampostería. Sin duda, la eliminación de la arcilla contenida en la arena utilizada en la fabricación de los bloques, mejorará la resistencia a la compresión del concreto; no obstante, el procedimiento de lavado para separar la arcilla requiere abundante agua, misma que no existe en el banco de arena, y su uso aumentaría el costo de este material de construcción; igualmente, adquirir arena de río de la ciudad de Ocozacoautla, localizada a 13 km de Ocuilapa de Juárez, significa 50% más del costo de la arena del lugar.

También, el estudio realizado 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, con base en la normatividad vigente (NTC, 2004), están dentro del rango de seguridad estructural al verificar que registran baja vulnerabilidad sísmica. Por lo anterior, los prototipos presentados constituyen una alternativa para incrementar el nivel de confinamiento estructural en los muros de las viviendas de esa localidad y lograr que los habitantes construyan sus viviendas con mejores condiciones de seguridad. Entre otras particularidades que tienen los prototipos, destaca el bajo costo de su construcción por los materiales utilizados y los procedimientos constructivos de fácil ejecución.

Finalmente, la propuesta científica-tecnológica que se plantea, contribuirá a resolver la inseguridad estructural que presentan las viviendas con características similares y por consiguiente, permitirá reducir los posibles riesgos que pudiesen sufrir los habitantes, a consecuencia de movimientos telúricos con cierta magnitud, en beneficio de las familias de bajos ingresos económicos que viven en comunidades rurales del estado de Chiapas, de México o de países Latinoamericanos.

7. Agradecimientos

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

8. Referencias

- 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 - COST Action C26 Conference*, Federico Mazzolani (Ed.), Taylor & Francis, Londres, Reino Unido, pp. 1011-1016.
- CFE (2008), Comisión Federal de Electricidad Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo, México, pp. 4-53, [Consultado el 28 de noviembre de 2014], DOI: <http://es.scribd.com/doc/52197523/CFE-Sismo-08#scribd>
- CONAPO (2007), Consejo Nacional de Población 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), Proyecto de investigación: Mejoramiento habitacional y saneamiento comunitario del Ejido Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozacoautla, 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 Ocozacoautla, Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 1a. Ed., Universidad Autónoma de Chiapas, 194 pp.
- Escamiroso L., Ocampo M., Badillo R., Mérida A., Zebadúa S., Molina N., López A., Pérez L., Del Carpio C., Linares M. (2008), Proyecto de vinculación para el mejoramiento habitacional y saneamiento comunitario en Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozacoautla, Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas, financiado por el Fondo Mixto
- CONACyT - Gobierno del estado de Chiapas (FOMIX-Chiapas), 2006-2008, México.



- Escamirosa 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. (2011)**, 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., Universidad Autónoma de Chiapas, 203 pp.
- 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.
- INEGI (2010)**, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censo de Población y Vivienda 2010, México.
- INEGI (2013)**, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mapa digital de México, [Consultado el 24 de enero de 2015], DOI: <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm?c=423>
- 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.
- NTC (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.