

# CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO DE MÉXICO

Dr. Héctor Nolasco Soria, Director General y Editor

## Evaluación de la capacidad sismo-resistente de las viviendas tradicionales de la ciudad histórica de Chiapa de Corzo, Chiapas

La Paz, B.C.S, a 13 de diciembre de 2014



María de Lourdes Ocampo García<sup>1</sup>, L. Franco Escamirosa Montalvo<sup>1</sup>, Roberto Arroyo Matus<sup>2</sup> y Hermenegildo Peralta Gálvez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, lourdes@unach.mx



### Resumen

El presente proyecto científico-tecnológico tiene como objetivo contribuir a resolver la problemática de vulnerabilidad sísmica del patrimonio habitacional tradicional que comparten las ciudades históricas en el sureste mexicano, a través de una propuesta de reforzamiento estructural en las viviendas tradicionales de la ciudad histórica de Chiapa de Corzo, Chiapas. En un primer momento, se obtuvieron registros in situ con sensores de aceleración para determinar los periodos fundamentales de vibración en dos inmuebles. Los resultados precisan que el nivel de seguridad estructural está en el rango alto de vulnerabilidad sísmica, por encima de 0.12 segundos de rango máximo, lo cual hace pertinente intervenir las viviendas que carecen de confinamiento estructural y no garantizan la seguridad de sus habitantes.

**Palabras clave:** vivienda, vulnerabilidad, seguridad, adobe, sismo, aceleración.

### Abstract

This scientific and technological project aims to help solving the problem of the seismic vulnerability of the traditional housing patrimony in the historic cities of the Mexican southeast through a proposal to reinforce the structure of the traditional housing in the historic city of Chiapa de Corzo, Chiapas. There were made records of the fundamental vibration periods of two buildings using acceleration sensors in situ. It was determined that their level of structural security was on a high range of seismic vulnerability, above 0.12 seconds of maximum range. With this measurement it was proven the pertinence of an intervention to restructure these buildings, which lack structural confinement and do not grant security to its inhabitants.

**Key words:** traditional, vulnerability, security, adobe, earthquake, acceleration.

**Área temática:** Área 7. Ingenierías.

### Problemática

La problemática es el alto nivel de vulnerabilidad de la vivienda tradicional de adobe del Centro Histórico de Chiapa de Corzo, Chiapas, que combinado con la gran peligrosidad sísmica de esta región da como resultado un elevado riesgo sísmico: un escenario probable futuro con fuertes daños, pero que puede evitarse si se toman medidas pertinentes y estratégicas de prevención. En este estudio se intenta mitigar dicho riesgo a través de una propuesta económica y práctica de rehabilitación estructural de las viviendas de adobe de este patrimonio cultural.

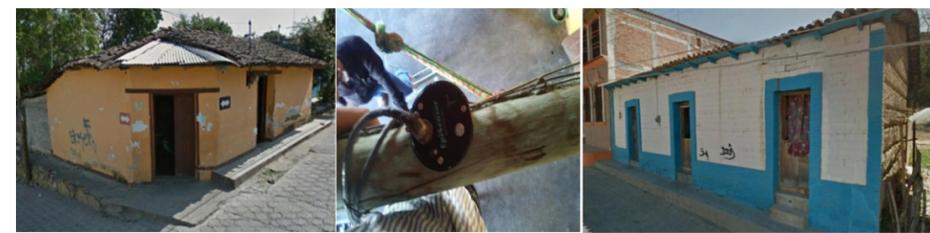


Figura 1. a). Vivienda tradicional 1 (V1), con coordenadas geográficas UTM (498673.62, 1847525.79) y elevación de 433.78 msnm. b). Ubicación del sensor de aceleración sobre la estructura de la cubierta de la vivienda. c). Vivienda tradicional 2 (V2), con coordenadas geográficas UTM (498912.38, 1846963.84) y una elevación de 421 msnm.

### Usuarios

Las dependencias federales como la Secretaría de Gobernación (SEGOB), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Entidades estatales y municipales de protección civil, instituciones de educación superior, centros de investigación, investigadores estudiantes, interesados en esta área temática, la sociedad en general.

### Proyecto

La Región Sur de México, conformada por los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, presenta zonas con elevada actividad sísmica, debido a la subducción de la placa tectónica de Cocos, bajo la placa de Norteamérica, que ha generado sismos de magnitud considerable a lo largo de la historia (García y Suárez 1996). En esa área geográfica, se desarrollaron importantes culturas tanto del periodo precolombino como de la época colonial, que originó la fundación de pueblos y ciudades que hoy en día son declarados patrimonio histórico de la humanidad; entre ellas, Chiapa de Corzo, Chiapas, constituida por edificios construidos con características y materiales a la usanza ancestral. Debido a la ubicación de la ciudad y a los materiales de construcción de los edificios patrimoniales, entre ellos, las viviendas tradicionales con muros de adobe y tabique sin confinamiento estructural y por consiguiente inseguras, se advierten un alto riesgo de perder los inmuebles ante la ocurrencia de fenómenos telúricos de cierta magnitud y, lo más lamentable, posibles daños a los habitantes (Salgado et al 2004, 2005). Además, existen registros de los efectos causados por los sismos de octubre de 1975, que originó el éxodo masivo de la población de Chiapa de Corzo, por el colapso de las edificaciones con un alto porcentaje de viviendas tradicionales (Ocampo et al 2005).

Este trabajo presenta el estudio realizado en dos viviendas tradicionales seleccionadas en la ciudad histórica de Chiapa de Corzo, Chiapas, como casos tipo, para determinar las propiedades dinámicas estructurales y la vulnerabilidad de las viviendas en un escenario sísmico de mayor magnitud, a través del análisis de registros acelerográficos de los periodos fundamentales de vibración ambiental, realizados in situ con sensores de aceleración. Con lo anterior, se desarrollará una propuesta de reforzamiento estructural en las viviendas, toda vez que sus elementos: muros de adobe y tabique, por falta de confinamiento estructural no garantizan estabilidad y por consiguiente son inseguras. El estudio forma parte del proyecto de investigación: "Propuesta de reforzamiento estructural para la consolidación de la vivienda tradicional del centro histórico de Chiapa de Corzo, Chiapas", financiado por la SEP, y tiene varios propósitos; aumentar la seguridad de la estructura de las viviendas, conservar en lo posible los elementos patrimoniales de origen y los espacios funcionales de la vivienda tradicional, con base en la tipología catalogada por Ocampo (2003): viviendas criolla, mestiza e indígena, y garantizar la seguridad de sus habitantes. La propuesta científica-tecnológica que se desarrolla, contribuirá a resolver los problemas de inseguridad estructural que presentan las viviendas tradicionales con características similares en la Región Sur de México, a causa de los efectos por sismos, dirigida principalmente a ofrecer una alternativa viable que beneficie a los habitantes de bajos ingresos económicos, que por su condición social son más vulnerables a sufrir daños. El equipo de trabajo para esta investigación, está conformado por académicos de las Universidades Autónomas de Chiapas y de Guerrero, integrados en cuerpos académicos: Desarrollo urbano y Riesgos naturales y geotecnología, respectivamente.

Como parte de la metodología aplicada se seleccionaron dos viviendas tradicionales, de acuerdo con la tipología catalogada (Ocampo 2003) y la condición de bajos ingresos económicos de los habitantes (INEGI 2013). La primera vivienda (V1) se localiza en el barrio Santo Tomás entre la Av. Miguel Hidalgo y calle Tomás Cuesta y está estructurada a base de cimentación de zapata corrida de mampostería de piedra, con muros de adobe de 40 cm de espesor y techumbre a base de tejas de barro con soporte de vigas redondas y fajillas de madera; según la propietaria, Sra. Evangelina Montero Aguilar, el inmueble tiene 80 años (Fig. 1a). La segunda vivienda (V2) se localiza en el barrio San Pedro en la calle Ignacio López Rayón No. 24, es propiedad del Sr. Téofanes Tasiás y fue construida hace 75 años, con estructura similar a la

anterior, con excepción de la fachada, la cual se recubrió con tabique de barro recocido (Fig. 1c). En cada vivienda se realizó el estudio de vibración ambiental para establecer los periodos fundamentales de vibración y los correspondientes del suelo. Para ello, se utilizó una grabadora K2 (Kinematics) y un sensor acelerográfico (Triaxial Episensor, Kinematics) (Fig. 1b). Se efectuaron registros acelerográficos en tres direcciones ortogonales, de 30 segundos de duración cada uno, y se calcularon los espectros de Fourier en cada registro. Finalmente, se determinó la Función de Transferencia, o razón espectral, empleando la técnica de Nakamura (1989).

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (CENTRO P1 X/ SUELO P4 X) Y (CENTRO P1 Y/ SUELO P4 Y)

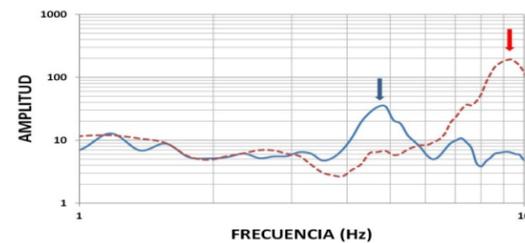


Figura 2. Identificación de las frecuencias con mayor ampliación de respuesta espectral en la vivienda 2 (V2); con una vibración en la dirección x de 4.88 Hz (0.2048 seg) y 9.16 Hz (0.1091 seg) en la dirección y.

Los principales resultados encontrados se refieren a las inspecciones técnicas y evaluaciones estructurales de las viviendas (efectuadas en diciembre de 2013). En las zonas estudiadas, se examinó el suelo y se obtuvo que el período de vibración fundamental en promedio fue de 0.2133 segundos. En la figura 2, se muestran las funciones de transferencia para la vivienda V2. La función continua corresponde a la dirección corta de la vivienda (x) y la función punteada para la dirección larga (y). Estas funciones se obtuvieron dividiendo los espectros de Fourier calculados de los registros acelerométricos en el centro de la vivienda (Punto P1), entre los de nivel de suelo (Punto P4). La relación de ambas permite establecer cómo se amplifica la respuesta en el punto P4 respecto al punto P1; en la gráfica se resaltan las frecuencias que producen mayor ampliación de la respuesta espectral. En esta forma, se precisó que las frecuencias de vibrar en la vivienda V2 fueron 4.88 Hz (0.2048 seg) en x y 9.16 Hz (0.1091 seg) en y, obteniéndose un período fundamental de 0.2048 segundos; asimismo, aplicando el mismo procedimiento para la vivienda V1, se obtuvo que el período fundamental es 0.1506 segundos (Ver la figura 3). Los periodos fundamentales de vibrar en ambas viviendas son altos, pues deberían situarse, si las estructuras estuvieran estructuralmente sanas, en un rango de entre 0.08 a 0.12 segundos, como máximo (Hernández et al 1979). Los valores obtenidos fueron mayores debido a que por ejemplo, la vivienda V1, con un periodo de 0.1506 segundos, presenta graves fisuras en muros y enormes cuarteaduras en las esquinas, esto incide en una menor rigidez y a la vez provoca que el período de vibrar se incremente. En el caso de la vivienda V2, el período de vibración, de 0.2048 segundos, es mucho mayor, lo cual indica que además del daño moderado que presenta, como fisuras en las esquinas y erosión leve de la base de los muros, la altura de los muros cabeceros genera una alta esbeltez que se manifiesta con una vibración de más baja frecuencia. En ambos casos las estructuras estudiadas presentan daños visibles y deficiencias de comportamiento, por lo que se recomienda efectuar la reparación integral de los muros a fin de mitigar la vulnerabilidad, que un escenario sísmico de magnitud mayor a  $M_w=6$  pudiese generar. La técnica de instrumentación empleada permitió definir que el período fundamental de vibración actual de las viviendas es más alto del que normalmente deberían de poseer (Nakamura 1989), lo cual corrobora la existencia de daño severo en sus muros. Por este motivo, se asignó un nivel de seguridad estructural bajo en ambas estructuras. Al respecto, el equipo de investigadores consideró necesario desarrollar una propuesta de reforzamiento general para ambas viviendas. El refuerzo que se describe a continuación, calculado y diseñado por Arroyo y col. en 2010, tiene como objetivo incrementar la resistencia principalmente de las esquinas o encuentros de los muros ortogonales y las esquinas de vanos de puertas y ventanas:

- A) Retirar el sistema de la techumbre debido a su actual estado de deterioro, y reemplazarlo por soportes transversales y longitudinales con vigas rectangulares de madera, sobre las que se apoyarán las duelas de madera para recibir la cubierta de teja de barro.
- B) Debido a que los daños registrados en las viviendas son graves, se analizó la propuesta de un sistema de rehabilitación y refuerzo consistente en construir un aplanado integral con mortero cemento-arena (Proporción 1:3) de 2 cm de espesor sobre ambas caras de los muros, reforzado con malla electrosoldada de acero (6x6/10x10), convenientemente fijada.
- C) Asimismo, se sugiere el siguiente procedimiento constructivo: Retirar el aplanado existente y limpiar la cara de los muros de polvo, humedecer la pared y después colocar una primera capa de mortero de 1 cm, en ambas caras del muro. Posteriormente se colocará la malla electrosoldada sobre el aplanado externo e interno, mismas que se sujetarán entre sí con amarres dobles de alambre, los cuales pasarán a través del espesor del muro de adobe por agujeros realizados con broca para no dañar su estructura. En seguida, se agregará la segunda capa de mortero en ambos lados del muro.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (CENTRO P1 X/ SUELO P4 X) Y (CENTRO P1 Y/ SUELO P4 Y)

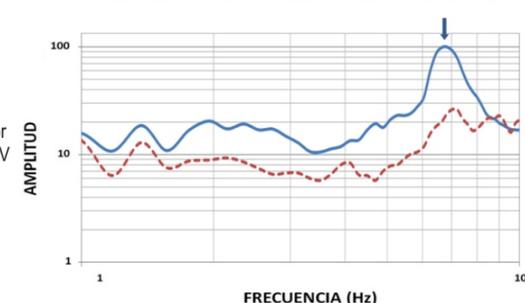


Figura 3. Identificación de las frecuencias con mayor ampliación de respuesta espectral en la vivienda 1 (V1) con una vibración de 6.64 Hz (0.1506 seg) en la dirección x, y 7.13 Hz (0.1403 seg) en la dirección y.

En conclusión, el análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en las viviendas tradicionales estudiadas, permitió determinar que los periodos de vibración registrados en las estructuras son elevados, por lo que la vulnerabilidad sísmica es alta en ambas estructuras y, por consiguiente, puede existir un grave riesgo para la seguridad de sus habitantes (Hernández et al 1979). Además, dichos resultados son compatibles con los obtenidos en instrumentaciones realizadas en viviendas del estado de Guerrero en 1979 (Hernández et al 1979) y en el periodo 2009-2010 (Arroyo et al 2010). Se diseñó y aplicó un proceso de reforzamiento específico para cada vivienda. Una vez que concluya la intervención arquitectónica y el proceso de refuerzo estructural de las viviendas tradicionales, se realizará nuevamente la instrumentación acelerométrica para determinar la manera en la que evolucionó la capacidad sismo-resistente.

### Impacto socioeconómico

La rehabilitación sugerida disminuirá el alto nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas tradicionales de la ciudad histórica de Chiapa de Corzo pues de acuerdo con estudios previos, la resistencia al cortante del adobe puede incrementarse de 0.1 MPa hasta 1.4 MPa (Quiñ 2005). Si bien es cierto que las viviendas de adobe estudiadas eran peruanas, su similitud con las viviendas mexicanas, garantiza la obtención de resultados satisfactorios, tal y como se demuestra en las pruebas experimentales realizadas en el estado de Guerrero, México (Arroyo et al 2010). Además, resulta económica la intervención, que no sobrepasa US\$1,100, si se considera que el reemplazo de las viviendas de adobe con pérdida total tras el sismo de Ometepec, Guerrero en 2012 fue de US\$10,500 (SEPC 2012). La propuesta de rehabilitación es importante para México pues se puede replicar en los centros históricos de las regiones sur y sureste del país.

Contacto: <http://pcti.mx>, [hnolasco2008@hotmail.com](mailto:hnolasco2008@hotmail.com)