

**MÉTODOS DE
REPARACIÓN
PARA LAS FALLAS
ESTRUCTURALES
MÁS COMUNES
OBSERVADAS EN
EDIFICACIONES DEL
MUNICIPIO DE SAN
PEDRO COMITANCILLO,
OAXACA,
OCASIONADAS POR
LOS EVENTOS SÍSMICOS
DE SEPTIEMBRE DEL
2017**

Fernando Treviño Montemayor

Instituto Tecnológico de Tepic
Tepic, Nayarit, México

Carlos Alberto Hoyos Castellanos

Instituto Tecnológico de Tepic
Tepic, Nayarit, México
<https://orcid.org/0000-0001-5965-1375>

J. Jesús Vázquez Magaña

Instituto Tecnológico de Tepic
Tepic, Nayarit, México

William Herbe Herrera León

Instituto Tecnológico de Tepic
Tepic, Nayarit, México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: El presente artículo se desprende de la información recopilada por la Brigada de Valoración Estructural conformada por profesores y alumnos asignados por la Academia de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Tepic, a una visita técnica al municipio de San Pedro Comitancillo, Oaxaca; zona afectada por los eventos sísmicos ocurridos en septiembre del 2017 con el fin de evaluar la condición de sus edificaciones. Los dictámenes de las visitas se pueden clasificar como: habitable sin daños, habitable previa reparación por especialista, inhabitable para demoler y colapsada. Para los tipos de falla estructural más recurrentes, en este trabajo se analizan las causas probables y se proponen estrategias de prevención para edificaciones futuras y de reparación para las existentes que presentan daños reparables.

Palabras Clave: Falla estructural, daños reparables, sismos.

INTRODUCCIÓN

La evolución de los procesos tectónicos ubica geológicamente a la República Mexicana sobre cinco placas litosféricas (Placa de Norteamérica, Placa de Pacífico, Micro placa de Rivera, Placa los cocos y Placa del Caribe); el territorio mexicano se zonifica en cuatro regiones sísmicas de acuerdo a la frecuencia e intensidad en que se han presentado históricamente, con el objeto de servir de apoyo al Diseño Sísmico de Estructuras, siendo el Sureste del País la zona con mayor intensidad sismológica, afectando directamente a los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y parte de Jalisco. Esta cercanía al denominado cinturón de fuego, desencadena una serie de eventos sísmicos, producto de la convergencia de la Placa de Cocos que subduce bajo la Placa de Norteamérica, dando lugar a un sismo de magnitud 8.2 en la escala de Richter el 07 de Septiembre de 2017; y provoca daños graves

en la zona del Istmo, afectando principalmente el Golfo de Tehuantepec; posteriormente a este evento, se presentan réplicas de menor magnitud, resaltando uno nuevo de magnitud 6.1 en la escala Richter el 23 de Septiembre de 2017 ampliando la zozobra de la población así como los daños en las edificaciones que quedaban en pie.

El presente artículo busca desarrollar métodos de reparación para las fallas estructurales por cortante y por flexión observadas en columnas, traveses y muros, así como la particular condición de acciones transversales en columnas cargadas, denominada “de columna corta”, basados en un criterio ingenieril y una herramienta de consulta estadística generada por las evaluaciones *In situ* de los distintos tipos de fallas más comunes presentados en un total de 251 (doscientoscincuenta y un) levantamientos de casas habitación e infraestructura pública como centros educativos, instalaciones pecuarias y edificio de Palacio municipal, para contribuir en la manera posible a guiar la reparación o reconstrucción de las estructuras, según sea el caso, tratando de evitar reincidir en los errores más comunes encontrados, tanto por procesos constructivos deficientes, o diseños no apropiados para la zona sísmica, todo con el propósito de salvaguardar la seguridad de los usuarios, que recuperen la tranquilidad de habitar sus viviendas, y utilizar sus edificaciones con la certeza de que están trabajando conforme a los parámetros establecidos por la Ingeniería estructural.

El sismo se presenta como un desplazamiento espacial del suelo que soporta la estructura, generando reacciones inerciales de la masa de las edificaciones, clasificadas entre las acciones accidentales en los códigos de construcción. Sus componentes horizontales provocan corte y flexión en los elementos estructurales verticales (columnas y muros), que en los edificios a base de marcos

se transmiten a las trabes. Las componentes verticales de las fuerzas inerciales, así como el fenómeno de volteo ocasionado por las horizontales, provocan variaciones momentáneas de la compresión en columnas y muros, incrementando y concentrando instantáneamente la carga del edificio de un lado al otro de la edificación. Adicionalmente y dependiendo de la distribución en planta del edificio, así como de sus rigideces y su masa, se puede inducir una torsión de toda la planta o entepiso, que incrementa las deformaciones inducidas en los elementos estructurales; en especial los más alejados de su centro.

Situación común en las viviendas es que carecen de tableros de muro resistentes significativos en la dirección transversal al terreno (paralela a la banqueta), o están debilitados por aberturas sin confinar para ventanas y puertas. Y una buena proporción presentó una deficiente estructuración, con distribución de rigidez, elementos resistentes y cargas muy irregulares.

FALLAS EN COLUMNAS Y TRABES ESTRUCTURALES

La Coordinación Nacional de Protección Civil, en su manual de “Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de edificios”, muestra que los elementos estructurales más importantes en edificios son las columnas, seguido de muros estructurales y trabes (Coordinación Nacional de Protección Civil, 2014). La Brigada de Valoración Estructural que realiza los dictámenes estructurales en el municipio de San Pedro Comitancillo, concluye que las fallas más comunes que afectaron a las columnas y trabes fueron las fallas por cortante, por flexión y por la condición denominada de columna corta.

CORTANTE

Las fallas por cortante suceden cuando se excede la resistencia a la tensión diagonal

en un elemento estructural. El sismo puede originar daños por corte en los elementos verticales de la edificación, el cual provoca por lo regular su inutilización, y en algunos casos el colapso total o parcial de esta. La apariencia típica de estas fallas por tensión diagonal, es la formación de grietas inclinadas en ángulos de aproximadamente 45°; figura 1. En comparación con el modo de falla por flexión, la falla por cortante se considera más peligrosa ya que es denominado como “tipo frágil” y sus consecuencias suelen ser más catastróficas. La falla por cortante, tanto en columnas como trabes, se presenta cuando las fuerzas cortantes sobrepasan la resistencia del elemento, las almas de la sección transversal en caso de edificios de acero o de concreto, y el refuerzo longitudinal y transversal (estribos) en el caso de este material.

FLEXIÓN

Las fallas por flexión comienzan con el agrietamiento del concreto en el lado de las tensiones en donde el acero de refuerzo debe contribuir a soportar dichas fuerzas. En el diseño de concreto reforzado se calcula la cantidad de acero, para que el acero pueda fluir y tenga una falla dúctil. La falla se presenta al aplastamiento del concreto en el sitio de compresión. Las fallas por flexión son muy sencillas de identificar, ya que forman grietas transversales al eje del miembro, en la localización de los momentos máximos, en los extremos de las columnas, y en los extremos y centro de las trabes; figura 2.

Otro tipo de falla encontrada en las visitas, es la falla en los nudos de estructuras a base de losas, trabes y columnas. La complejidad de los esfuerzos en los nudos de la estructura sometida a acciones dinámicas en las tres direcciones espaciales, es el motivo por el que las disposiciones de diseño sísmico son especialmente rigurosas en esta parte de la estructura, a la que se le imponen requisitos de



Figura 1- Cortante en columnas de concreto.



Figura 2- Flexión en columnas de concreto.



Figura 3- Falla por la condición de columna corta.



Figura 4- Falla por cortante en muro. Dos confinados y uno sin confinar.



Figura 5- Falla en bardas perimetrales.

ductilidad que eviten el colapso, absorbiendo la energía de los movimientos, aún cuando posteriormente al evento sísmico sean muy difíciles de reparar.

CONDICIÓN DE COLUMNA CORTA

Las denominadas fallas por la condición de columna corta se presentan en columnas cuando algún elemento, comúnmente antepechos y muros divisorios, se encuentran adosados a éstas, restringiendo su desplazamiento hasta esa altura. Esto ocasiona concentraciones de fuerza cortante en las columnas, por lo que tienden a fallar frágilmente por cortante y flexión; figura 3.

El caso más común es cuando se alzan muros de poca altura para dejar aberturas para ventanas en la parte superior, ocasionando que tales muros restrinjan el desplazamiento en la parte baja de las columnas. Decenas de edificios escolares tuvieron que demolerse a pesar de haber estado especificado en sus proyectos ejecutivos la separación estructural efectiva de los muretes y antepechos adyacentes, principalmente, por no asegurar la separación efectiva de los elementos no estructurales.

FALLA EN MUROS

Las fallas más recurrentes que observa la Brigada de Valoración Estructural en las edificaciones a base de muros de carga de mampostería de tabique, por lo general las viviendas de San Pedro Comitancillo así como de Juchitán, fueron las fallas por cortante. En los proyectos estructurales, los muros son destinados a resistir los esfuerzos producto de las fuerzas horizontales sísmicas, manteniendo su capacidad de transmitir a la cimentación las cargas verticales. Ante esta sollicitación, las fallas que suelen presentarse son, en su unión con los sistemas de piso por cortante horizontal o vertical con los elementos confinantes, si los hubiera, por tensión diagonal en el muro y por

vuelco. Cuando ocurren fallas en los muros, generalmente se manifiestan grietas en forma de X, las cuales son producto de grandes demandas de ductilidad y elevadas fuerzas cortantes en ambos sentidos en la dirección del eje del muro; figura 4.

En la mayoría de las bardas perimetrales, la falla general ocurrió por volteo desde la base, en donde se advierte la ruptura del acero de refuerzo, generalmente de armados prefabricados con acero de f_y superior a 5000 kg/cm².

En Juchitán y San Pedro Comitancillo, muchas de las viviendas nuevas tienen muros de carga confinados, sobre todo las de construcción más reciente. El confinamiento de los tableros de mampostería de tabique con dalas y castillos incrementa grandemente la capacidad de los muros para resistir el cortante, y los códigos de construcción suelen especificar las dimensiones del tablero, de los elementos confinantes, así como la especificación del acero de refuerzo. Aun así, construcciones con muros de carga confinados y no confinados fueron dañadas por los sismos; figura 5.

REPARACIÓN Y REFUERZO

La reparación de una estructura dañada por los movimientos sísmicos es un proyecto de inversión que debe evaluarse muy bien antes de emprenderlo, puesto que debe restaurar sus capacidades iniciales a la vez de superarlas en aquellas partes en las que estas fueron sobrepasadas durante el fenómeno. Soportar nuevamente un sismo sin fallar es la meta, por lo que hay que estar seguros de que la reparación es factible y rentable con relación a la demolición y construcción nueva; deben entrar en juego criterios como, la capacidad técnica y el presupuesto para diagnosticar el origen de las fallas, diseñar y construir el sistema estructural que sea suficiente en comparación con la demolición

y construcción nueva, con estructuración y capacidades incrementadas según la solicitud.

En caso de que se opte por reparar, hay que asegurarse que los refuerzos quedarán efectivamente integrados a la estructura y son compatibles con ella, de manera que contribuyan a su resistencia, y no vayan a deteriorarse o arrancarse durante una nueva solicitud.

Se presentan a continuación las recomendaciones de reparación para las fallas más frecuentes, sencillas y relativamente fáciles de realizar con la mano de obra de la zona.

ESTRUCTURACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Realizar siempre un análisis estructural para la combinación de cargas verticales y cargas accidentales por sismo. Éste arrojará la necesidad de construir más muros, incluida su cimentación compatible con la existente del resto de la estructura; especialmente en las viviendas con escasos muros transversales o para reducir los efectos de la torsión. Asimismo, nos indicará la necesidad de incrementar dimensiones o especificaciones de algunos elementos estructurales.

FISURA O GRIETA EN MUROS DE LADRILLO

La fisura o grieta en muros, frecuentemente presentada en forma de "X" es una de las fallas más comunes ocasionadas por estos eventos sísmicos; visibles con facilidad, se encuentran de ancho variable, atraviesan el aplanado, las juntas y los ladrillos, cortándolos, y es visible por ambas caras del muro. Se sugiere reparar de acuerdo al siguiente procedimiento; apuntalar la estructura para soportar al menos sus acciones verticales, utilizar cincel y martillo por una de las caras del muro, revivir la fisura con un ancho aproximado de 5 a 7 cm según la magnitud de la grieta, con una profundidad

no mayor a la mitad del espesor del elemento. Una vez retirado el material suelto y polvo de la fisura, aplicar mortero de cemento arena en proporción 1:4 con la mínima cantidad de agua posible y compactarlo con martillo. Pasadas 72 horas, repetir el procedimiento anterior por la otra cara del muro. En caso de que sea necesario incrementar el espesor del muro, se puede realizar mediante un aplanado de cemento arena en proporción 1:5, aplicado en ambas caras del muro, directamente sobre el tabique (después de retirar todo el aplanado), reforzado con malla electrosoldada y malla de alambre, uniendo ambos aplanados a través del muro con varillas en forma de C o S, de diámetro mayor o igual a 0.63 cm a cada 50 cm. Aplicar curado con agua manteniendo húmeda la zona reparada al menos por 6 días.

En los casos donde se determine emplear la técnica de rehabilitación de muros utilizando malla de alambre electrosoldada, para determinar el tipo y cantidad de malla a utilizar que resista las fuerzas laterales, su colocación, por una o ambas caras del muro y el número de anclajes se recomienda utilizar los criterios de diseño propuestos por Ruiz y Alcocer (Ruiz García, 2007), o la que el diseñador responsable elija conveniente.

ENCAMISADO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO

Si como resultado del análisis estructural solo se requiere reparar ciertos elementos para mejorar el desempeño sísmico de la estructura existente, puede optarse por los encamisados de concreto o con elementos de acero.

Los encamisados aumentan la sección transversal mediante elementos que rodean al anterior, aumentando su rigidez, resistencia axial, a flexión, torsión y cortante; por lo que se considera una técnica de reparación y refuerzo (Soto Barraza, 2008).

Los encamisados se pueden colocar en toda la longitud del elemento o solo en

puntos específicos (collares) que son camisas que cubren solo una parte del elemento. La técnica se realiza con concreto e implica el uso de cimbra. Previo a cualquier reparación, asegurarse que la estructura esté estable, apuntalar la sección de la estructura tributaria del elemento a reparar. Con martillo y cincel, o martelina retirar los aplanados y todo el concreto dañado en su totalidad, retirar el material suelto y polvo para, posteriormente reparar todas las fisuras del elemento utilizando resina epóxica, y con la misma herramienta martelinar la superficie (darle rugosidad al elemento). Colocar el acero de refuerzo longitudinal y estribos; el acero longitudinal debe distribuirse de manera uniforme y con una separación mínima de 10 cm entre los estribos, en el caso de columnas, el acero longitudinal se debe anclar a las zapatas y penetrar las losas para darle continuidad al elemento, y en trabes, se ancla a las columnas en perforaciones con resina epóxica, la longitud de anclaje puede variar entre las especificaciones del fabricante de la resina epóxica o los parámetros de diseño. Cimbrar el elemento y realizar su colado, con un concreto de alta resistencia y durabilidad, curado durante alrededor de 10 días.

Si se determina emplear la técnica de rehabilitación de trabes y columnas utilizando encamisado con concreto reforzado, se recomienda utilizar los criterios de análisis y diseño propuestos por (Ruiz García, 2007).

Es posible una reparación y refuerzo de elementos estructurales mediante la aplicación de fibras de carbono adheridas con productos compatibles con ellas. Las altas resistencias de estas fibras contribuyen al mejoramiento del desempeño de elementos estructurales, y por ser vulnerables al vandalismo, deberán siempre estar protegidas por aplanados o plafones y ser aplicadas por personal capacitado.

CONDICIÓN DE COLUMNA CORTA

En la valoración de las estructuras visitadas, este tipo de falla se encontró en edificaciones a base de marcos con losas, trabes y columnas. Las fallas en las columnas producidas por la condición de columna corta resultaron irreparables, ya que los daños presentados eran muy severos; con desplazamiento de plantas completas y afectando a muchas de las columnas del piso. Estalla el concreto y el acero de refuerzo se deforma por completo.

Esta condición de columna corta ocurre cuando elementos como los muros no estructurales se extienden parcialmente a su altura, aplicando, debido a los desplazamientos sísmicos de la planta; reacciones transversales al eje de la columna.

Cualquier diseño de edificación con columnas, deberá asegurar una estructura que vibre libremente según las solicitaciones que se le apliquen, sin que interfiera con otros elementos constructivos no estructurales. Los elementos no estructurales deberán tener su propio sistema de resistir los movimientos laterales derivados de las solicitaciones sísmicas.

Es importante revisar nuestras estructuras para verificar que los muros, antepechos y demás elementos no estructurales estén debidamente separados de las columnas, y que tengan su propio sistema de resistencia a las acciones laterales accidentales como las provocadas por el sismo y el viento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para ser una región de reconocida actividad sísmica, en donde la mayoría de las edificaciones habían salido boyantes de anteriores eventos telúricos, hay que reconocer, que las características de los sismos de Septiembre de 2017 fueron excepcionales en intensidad y frecuencias; más nocivas para edificaciones como las viviendas y escuelas que resultaron afectadas, por lo que se recomienda

estudiar los citados eventos y actualizar la reglamentación de las construcciones, así como proceder a enterar a los propietarios para su refuerzo necesario, sin necesidad de más desastres.

San Pedro Comitancillo, una población mexicana, enteramente sometida a excesivos días de incertidumbre y temor por las condiciones de sus hogares; condenada a vivir bajo árboles e instalaciones efímeras, sin las mínimas condiciones de habitabilidad y seguridad, debe despertar a las instituciones, a las escuelas, a los estudiantes, a los profesores y a las autoridades a presentarse como seres humanos solidarios, y contribuir directa y efectivamente a la resolución de la situación. Para la IC del I. T. Tepic fue una extraordinaria oportunidad de aplicar nuestros conocimientos en esta forma tan humana, con todo el apoyo que pudimos brindar, pues eso da más sentido a nuestra formación, no solo como ingenieros, sino como ciudadanos. Es necesario inculcar el sentido de comunidad y respaldo constituyendo a todas las escuelas de ingeniería en cuadrillas de apoyo a emergencias, con la debida constitución, capacitación, organización y alerta.



Figura 7- Cuadrilla de ICivil del ITTepic.

La mayoría de las viviendas de adobe o se colapsaron durante el sismo o quedaron severamente dañadas a nivel de inhabitable e irreparable. Ante la certeza de la sismicidad de la zona, se recomienda renovarlas por edificaciones con diseño sísmico expreso y

materiales de mayor ductilidad y resistencia. Evaluación especial en tal sentido habrá de hacerse a la edificación de mampostería de tabique sin confinamiento.

La vivienda tradicional del lugar contempla una distribución arquitectónica con muy pocos muros transversales, lo que le confiere extrema suavidad ante cargas laterales. Se recomienda realizar diseños arquitectónicos que incluyan tableros de muros de dimensiones significativas distribuidos uniformemente a lo largo de la edificación, que les confieran resistencia a las componentes laterales del eventual movimiento sísmico.

Es necesario se norme la utilización de muros de carga de mampostería de tabique confinados por cimentación, losas, dalas y castillos con dimensiones y acero de refuerzo suficientes.

Las pocas bardas perimetrales que quedan en pie tienen una configuración en zigzag, con castillos armados en los vértices, por lo que habrá que explorar la posibilidad de generalizar su utilización y divulgar su utilidad entre los propietarios de lotes vecinos.

Es posible reparar una buena proporción de las edificaciones dañadas, pero siempre será necesario que sean dirigidas por personal capacitado.

REFERENCIAS

Astorga, A., & Rivero, P. (2009). *Patologías en las edificaciones*. CIGIR.

Beaupertbury U., J., & Urich B., A. (s.f.). *El efecto de columna corta: estudio de casos*. B.R.S. Ingenieros, C.A.

Coordinación Nacional de Protección Civil. (2014). *Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de edificios*. CDMX: CENAPRED.

Evaluaadores, R. N. (2013). *Unidad 5 Daños Estructurales*. CDMX: CENAPRED.

García O, J., & Chirico N., G. (2012). *Propuesta metodologica constructiva de rehabilitación estructural de edificios aporticados de concreto armado*. Valencia: Universidad de Carabobo.

Pontificia Universidad Católica de Chile, E. (2010). *Manual para la reparación de viviendas dañadas programa de reconstrucción de ministerio de vivienda y urbanismo 2010*. Chile: Monografías y ensayos.

Ruiz García, J. (2007). *Rehabilitación sísmica de edificaciones de mampostería para vivienda*. Queretaro: SMIE.

Soto Barraza, E. N. (2008). *Rehabilitación de estructuras de concreto*. CDMX: UNAM Facultad de Ingeniería.