



## Construcción con Tierra

### Investigación y Documentación

#### XI CIATTI 2014

Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos  
2014.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz  
Guerra.

ISBN: 978-84-606-9543-1

D.L.: VA 758-2015

Impreso en España

Julio de 2015

Publicación online.

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.



## DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE FALLAS Y COLAPSO DEL PROTOTIPO DE TIERRA MEJORADA “LAS ÁNIMAS”

XI CIATTI 2014. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra  
Cuenca de Campos, Valladolid.

*Juan Ricardo Alarcón Martínez, Mtro. en Arquitectura. Profesor Investigador de la UAM-X.*

*Juan Manuel Everardo Carballo Cruz, Mtro. en Arquitectura de la UNAM. Profesor investigador de la UAM-X.*

*Noemi Bravo Reyna, Mtra. en Arquitectura. Profesora investigadora en el Departamento de Tecnología y Producción, CyAD UAM-X*

*Alejandro L. Díaz Tenorio, Mtro. en Arquitectura. Profesora investigadora en el Departamento de Tecnología y Producción, CyAD UAM-X*

*e-mails: [juanricardoam@yahoo.com.mx](mailto:juanricardoam@yahoo.com.mx), [carballo@correo.xoc.uam.mx](mailto:carballo@correo.xoc.uam.mx), [pancoupe@hotmail.com](mailto:pancoupe@hotmail.com), [alejandro\\_pepe25@hotmail.com](mailto:alejandro_pepe25@hotmail.com)*

*PALABRAS CLAVE: construcción con tierra, investigación, estructural.*

### 1.Introducción

En América Latina se ha mostrado que las estructuras de tierra cruda han presentado una elevada vulnerabilidad sísmica, debido al mal comportamiento ante las fuerzas inducidas por los terremotos, incluso los temblores moderados, llegando a colapsar de manera súbita. Esto ha generado un gran número de pérdidas humanas e importantes pérdidas económicas, culturales y patrimoniales.

Dadas las condiciones sísmicas en México, producto de su ubicación, donde probablemente se producen el 4% de los

sismos a nivel mundial. Anualmente se originan alrededor de 100 sismos de intensidad mayor o igual a 4.5 en la escala de Richter y en el transcurso del siglo XX ocurrieron poco más de 30 temblores de magnitud superior a los siete grados (Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México), el Sistema Sismológico Nacional, dividió al país en cuatro zonas o regiones, que reflejan la frecuencia registrada durante el siglo XX.

La información debe servir para el diseño sísmico. El primer prototipo construido se encuentra en una zona intermedia (Zona B) donde no se registran sismos frecuentemente



Figura 1. Regiones Sísmicas en México © Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad 2008

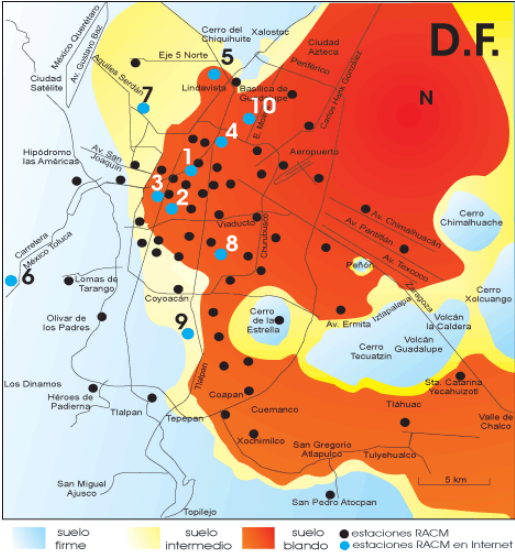


Imagen 2. Tipificación del suelo en el Distrito Federal © Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. [www.cires.org.mx](http://www.cires.org.mx)

y en la cual la aceleración del suelo es media, sin embargo en la cuenca de México debido a las condiciones de los estratos del subsuelo al ser una zona lacustre en estado de saturación, se pueden esperar altas aceleraciones pues funciona como un acelerador.

En las edificaciones el riesgo sísmico se sabe depende de cuatro variables:

1. concentración de la población
2. uso de suelo
3. tipo de suelo
4. tipo de construcción

El motivo de esta investigación es evaluar un modelo a escala real, construido en zona II considerada de transición, entre la zona de lomerío y zona lacustre. La pretensión inicial o primera fase del estudio es detectar la viabilidad en cuanto forma, materiales, estructuración, procedimiento constructivo y la materialización con mano de obra poco experimentada, para así detectar errores en sus fases proyectual y constructiva y cómo se acentúan en el periodo de pruebas.

Para llegar a concluir una aplicación viable que otorgue condiciones de seguridad y que la calidad de sus materiales y procedimientos

sea verificable en cualquier fase. en autoconstrucciones manufacturadas con poca asesoría técnica y nula supervisión profesional, además de realizarla con mano de obra poco calificada mejorando el comportamiento sísmico

En la actualidad en México la construcción con tierra sigue siendo considerada precaria, inestable e insegura agregándole una asociación a la pobreza y, al igual que en otros países no ha sido motivo de estudio experimenta que orienten construcciones de bajo costo y que brinden condiciones mínimas de seguridad ante los efectos de sismos. Lo anterior permitiría promover su aplicación y consideración dentro de sus Reglamentos de Construcción o de sus Normas Técnicas Complementarias, no solo como relleno o cerramiento.

Considerando algunas experiencias de análisis científicos y tecnológicos en vivienda hecha con suelo cemento, se procedió a exponer la estructura a cargas adicionales, observar su comportamiento físico y registrarlo, para inferir las afectaciones internas que se presentaron por su forma y por los materiales empleados tanto en muros como en la cubierta, después de un periodo ... la cubierta se llevo hasta la fase del colapso, lo que facilito detectar cuales fueron los puntos o zonas más vulnerables.

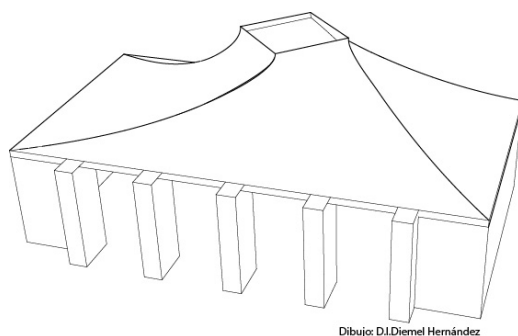


Figura 3. Perspectiva del prototipo © LITEC

Para el prototipo construido se considero exponerlo a un incremento de cargas gravitacionales con la intención acelerar el envejecimiento de la cubierta... identificando las áreas sometidas a los mayores esfuerzos internos y contrastándolo con la modelización virtual hecha antes de su fabricación.

En la modelización se realizaron varios ejercicios considerando un espesor diferente en cada uno de estos, tratando de identificar la mejor relación entre espesor y resistencia o rigidez en donde se evaluaron las respuestas de la estructura teniendo como prioridad el rango de seguridad a los usuarios, resistencia a la durabilidad, acción de congelamiento, sulfatos y aguas acidas...

Con la prioridad de reducir al máximo los riesgo ante movimientos sísmicos, se inician con una buena calidad de la construcción, apoyada en reglamentos con este fin y en análisis mecánicos y dinámicos de las obras en cuestión, las fuerzas de inercia, que originan las solicitaciones sísmicas son más elevadas mientras más masa tiene el edificio, la configuración regular simétrica en planta, parte de una planta rectangular en proporción de 2 a 1.

## 2. Descripción, análisis del proceso de fallas y del colapso del prototipo de tierra mejorada “Las Ánimas”

Cabe mencionar que todo el proceso de construcción fue forzado a las condiciones más desfavorables, pues no se utilizaron ni mano de obra calificada, ni herramienta o equipos para su óptima ejecución con el objetivo de emular las condiciones y recursos con los que cuentan las personas para construir en la modalidad de “autoconstrucción” sus

viviendas, espacios para almacenaje y trabajo.

### 2.1 El prototipo

La superestructura del prototipo constaba de un local, de forma rectangular en una proporción de 2 a 1 (orientación este-oeste), muros ciegos en los lados cortos (norte-sur), con mochetas en el sentido largo dando como resultado dos grapas, y un gran vano (fachada oriente) subdividido en 4 por 5 elementos perpendiculares que en su momento contarán con puertas y que otorgarán la posibilidad de ampliar el espacio; en el otro lado largo (fachada poniente) el vano es de la mitad del largo que la opuesta e igualmente tiene elementos perpendiculares que enmarcarán la puerta que tiene la misma intención que las otras y que además estructuralmente rigidizan considerablemente las estructura. (ALARCÓN, et. al.)

Los muros con forma de grapas se ejecutaron en dos etapas y con dos tipos de aglutinante o estabilizador (cal y cemento), la primera grapa se ejecuto con BTC de 10x15x30, en la segunda grapa se utilizo suelo cemento y para confinar los elementos verticales se dispuso una trabe de base ancha como cerramiento que además tiene la función de anillo de compresión y elemento de apoyo para el desplante de la cubierta. (ALARCÓN, et. al.)

### 2.2 Proceso de fallas

Se realizaron observaciones periódicas cada 3 meses con registro fotográfico, observación de grietas poniendo especial cuidado en el comportamiento de las fracturas registradas a simple vista monitoreando su evolución a lo largo de 2 años, con base a lo anterior, se desarrolló una hipótesis ponderando las siguientes variables:

- cargas gravitacionales
- elevada actividad sísmica,
- sobrecarga con bultos de arena (100 kg/m<sup>2</sup>),
- saturación paulatina del material (arena) por temporada de lluvias y
- factura defectuosa en el procedimiento constructivo.



Figura 4. Colapso del prototipo © LITEC



Figuras 5,6,7. Colapso del prototipo © LITEC

A partir del 23 de agosto de 2013 se inició el proceso de sobrecarga de la techumbre para provocar un colapso controlado, adicional a la carga axial, se presenta el factor sísmico característico de la región : desde mayo de 2013 a mayo de 2014 han ocurrido 1059 sismos mayores a 3 grados en la escala de Richter según el Servicio Sismológico Nacional de México<sup>1</sup>, sometiendo al prototipo a importantes esfuerzos por cargas horizontales, este efecto y sus combinaciones es significativo considerando que el módulo se encuentra construido en un terreno que se clasifica como de “transición” según el Reglamento de Construcciones de la Cd. de México, ese tipo de suelo (limo-arcilloso), se considera de alto riesgo desde el punto de vista sísmico.

### 2.3 El colapso

El 29 de mayo de 2014, ocurrió el colapso de la techumbre, los antecedentes inmediatos que influyeron, fueron:

- a) Fuertes lluvias desde finales de abril, que saturaron el material sobrepuesto (arena encostalada) e incrementaron la sobrecarga en un 80%. acelerando el agrietamiento en la superficie del techo enladrillado,
- b) Debido también a las intensas lluvias, se saturó el material (tierra mejorada) que conformaba la techumbre aumentando

aun mas la carga gravitacional.

c) Factor decisivo que aceleró el colapso, fueron los fuertes sismos del 8 de mayo, uno de 6.4 a las 12.00 hrs. del día y otro de 5.1 grados Richter 16 minutos después, el 10 de mayo a las 2.36 hrs. se presentó un sismo de 6.1 grados en la misma escala, del día 28 al 29 de mayo, se presentaron 6 sismos con un promedio de 4 grados de intensidad, combinados los efectos de los últimos sismos y la intensa lluvia de la madrugada del día 29, produjeron el derrumbe de la techumbre.

### 3. Conclusiones

Hasta mediados de abril, la techumbre se mantuvo estable a pesar de las fallas que presentaba (agrietamientos paralelos a los muros en el sentido largo y leve agrietamiento a 45° en las esquinas), la sobrecarga aplicada y la actividad sísmica. Pero al iniciarse la temporada de lluvias en la Cd. de México (de mediados de abril a septiembre) e incrementarse la carga por saturación de los materiales y la ocurrencia de 3 sismos de alta intensidad (de 6.4, 5.1 y 6.1 grados en la escala de Richter), se dio la combinación de los factores que aceleraron el proceso de colapso de la techumbre, ocurrido el 29 de mayo de 2014.

El colapso se caracteriza por el derrumbe de



*Figura 8. Colapso del prototipo © LITEC*

la techumbre de tierra mejorada y reforzada con metal desplegado anclada a puntas de varilla de acero de 3/8" de diámetro, el desprendimiento fue total en los lados largos mientras que en los lados cortos quedó parte de la techumbre colgando de los refuerzos de varilla anclados a la trabe perimetral. cabe mencionar que al darse el derrumbe, la parte superior (domo o lucernario de forma cuadrada girada 45° con respecto a los muros de carga) giró algunos grados en sentido contrario al giro de 45° que originalmente se dio al domo o lucernario, es decir "regresó" algunos grados (aproximadamente 12°).

El edificio no responde como unidad al no ser simétrico estructuralmente, ni en planta ni en volumen.

El ataque físico en la cubierta fue originado por la absorción de agua al agrietarse el recubrimiento de ladrillo, generando esfuerzos internos y expansión produciendo agrietamiento interno y escamamiento superficial.

En el diseño de la mezcla se trata de determinar la relación óptima de los agregados que garantice además de su resistencia la durabilidad máxima, empleando pruebas de materiales.

La durabilidad depende mayoritariamente de la ejecución en la colocación de la mezcla (suponiendo que se evitaría al máximo las juntas frías) la supervisión adecuada asegura que la ejecución cumpla con la norma o especificación... la falta de supervisión probablemente de cómo resultado una pobre calidad de construcción.

## Bibliografía

MINKE, Gernot. *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. "Forschungslabor für Experimentelles Bauen"*. Universidad de Kassel, Alemania Tercera edición, 2005

CARRANZA, Marcela. *¿Existen técnicas adecuadas de construcción con tierra para países sísmicos?*. ETSAB Universidad UPC, Barcelona abril, 2010

PONS, Gabriel. *La tierra como material de construcción San Salvador, 2001*. [www.ecosur.org/.../manuales?...la-tierra-como-material-de-construcción](http://www.ecosur.org/.../manuales?...la-tierra-como-material-de-construcción)

TORIAC, Corral José. *El suelo cemento como material de construcción Ciencia y Sociedad*, vol. XXXIII, num. 4, octubre-diciembre, 2008, pp. 550-571. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana

DE LA FUENTE, Lavalle Eduardo. *Casa de suelo-cemento*. Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Civil