



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

Mejoramiento integral del sistema constructivo de adobe de viviendas rurales
afectadas por los sismos del 2017 en Ecatzingo, Estado de México

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA
En el campo de conocimiento de Tecnologías

PRESENTA:
Ing. Arq. Emmanuel Chantaca De Jesus

TUTOR PRINCIPAL
Dr. Roberto Pliego Martínez
FES Aragón - UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
Dr. Luis Fernando Guerrero Baca
UAM Xochimilco

Mtra. en Ing. Perla Rafael Santa Ana Lozada
Facultad de Arquitectura – UNAM

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México.

abril 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

Mejoramiento integral del sistema constructivo de adobe de viviendas rurales
afectadas por los sismos del 2017 en Ecatzingo, Estado de México

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA
En el campo de conocimiento de Tecnologías

PRESENTA:
Ing. Arq. Emmanuel Chantaca De Jesus

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dr. Roberto Pliego Martínez
FES Aragón – UNAM
Dr. Luis Fernando Guerrero Baca
UAM Xochimilco
Mtra. Perla Rafael Santa Ana Lozada
Facultad de Arquitectura – UNAM
Mtro. Eduardo Iván Velázquez Richards
FES Aragón – UNAM
Mtra. Sofía Chávez López
FES Aragón – UNAM

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México.

abril 2021



JURADO

Dr. Roberto Pliego Martínez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca

Mtra. Perla Rafael Santa Ana Lozada

Mtro. Eduardo Velázquez Richards

Mtra. Sofía Chávez López

SINODALES

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Verónica y Eleazar por el gran apoyo que me brindaron durante este proyecto de investigación y toda la vida, siempre han estado viéndome crecer y logrando cada reto que me propongo. Mis hermanos Vanessa, Uriel y Estrella que han estado conmigo a cada momento. A Daniel quien fue una parte importante para culminar este proyecto.

A mi tutor Dr. Roberto Pliego por su enseñanza, comprensión y apoyo en la realización de este documento. Al Dr. Luis Fernando Guerrero por haberme apoyado en este proceso, enseñado la parte de Arquitectura de tierra y estoy convencido que es un tema muy importante tanto trascendental para la humanidad. A la Mtra. Perla Rafael por compartirme su conocimiento estructural y los programas que hoy en día son innovadores, por su paciencia y perseverancia conmigo. A la Mtra. Sofía Chávez quien me apoyó a lo largo de la Maestría en decirme como contemplar el proyecto y fuera viable como tema de Posgrado. Al Mtro. Eduardo Velázquez quien es una pieza fundamental en este proyecto, ya que, la parte tecnológica es gracias a él, por estar al pendiente de mi tema. Todo mi comité tutor que lo forman las personas mencionadas en este párrafo, doy gracias por su apoyo y lograr un proyecto de Investigación magnífico.

Al Mtro. Sergio Martínez quien estuvo apoyándome y dando seguimiento para que este documento pudiera culminarse. Al Dr. Carlos García quien me brindó sus consejos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo de investigación. A mis compañeros, por su retroalimentación en cada clase, de cada uno de ellos me llevo algo aprendido.

Al H. Ayuntamiento de Ecatezingo de Hidalgo y en especial a la presidenta municipal Lic. Rocío Solís por brindarme los recursos que llegué a utilizar al estar en el municipio, su cordialidad y amabilidad.

Al Ilustre Colegio Nacional de Ingeniero Arquitectos de México por darme la oportunidad de exponer mi tema de investigación y dar ponencias. En especial a los Ing. Arq. Brenda Frías y Edzon Morales, presidente de este Ilustre Colegio.

Índice

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 7 |
| Planteamiento del Problema | 13 |
| Justificación..... | 15 |
| Objetivos del Proyecto de Investigación..... | 15 |
| Hipótesis del Proyecto de Investigación | 16 |
| Metodología de la Investigación..... | 17 |
| Capítulo 1. La tierra; historia, usos y aprovechamiento. | 21 |
| 1.1. Características de la tierra | 21 |
| 1.2. Usos de la tierra en la Industria de la construcción..... | 23 |
| 1.2.1. Técnicas tradicionales con tierra | 23 |
| 1.2.2. Técnicas con tierra a base de sistemas mixtos | 24 |
| 1.3. Tradición y modernidad en la vivienda rural | 27 |
| 1.3.1 Sistema constructivo de una vivienda de adobe | 27 |
| 1.4 Reforzamiento de las edificaciones de adobe..... | 30 |
| 1.4.1. Edificaciones mesopotámicas de tierra | 30 |
| 1.4.2 Vivienda vernácula en México | 31 |
| Capítulo 2 Condiciones generales de la zona de estudio; Ecatzingo, Estado de México..... | 33 |
| 2.1. Contexto físico | 33 |
| 2.1.1 Ubicación..... | 33 |
| 2.1.2. Clima y precipitación pluvial | 34 |
| 2.1.3. Flora | 34 |
| 2.2. Características geotécnicas del lugar | 35 |
| 2.2.1. Actividades sísmicas en el lugar..... | 36 |
| 2.2.2. Actividades volcánicas en el lugar..... | 39 |
| 2.3. Edificaciones de la zona de estudio | 39 |
| 2.4. Viviendas en la zona de estudio..... | 41 |
| Capítulo 3. Pruebas generales del material de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México | 45 |
| 3.1. Ensayos de campo..... | 45 |
| 3.1.1. Ensayos de la sedimentación | 45 |
| 3.1.2. Ensayo de cohesividad | 46 |

| | |
|---|----|
| 3.1.3. Ensayo de expansión y retracción..... | 46 |
| 3.2 Pruebas de Laboratorio..... | 47 |
| 3.2.1. Prueba de resistencia a compresión de los adobes recolectados en Ecatzingo, Estado de México | 47 |
| 3.2.2. Análisis granulométrico con tierra de Ecatzingo, Estado de México | 50 |
| 3.2.3. Límites de consistencia | 52 |
| 3.2.4. Contracción lineal | 53 |
| Capítulo 4. La tierra y el estabilizador; la arcilla. | 56 |
| 4.1. Tepetate con arcilla al 10 % | 56 |
| 4.2. Tepetate con arcilla al 30% | 58 |
| 4.3. Tepetate con arcilla al 50% | 60 |
| Capítulo 5 Aplicaciones a la Arquitectura de Tierra..... | 64 |
| 5.1 Propuesta arquitectónica de la vivienda rural con el sistema constructivo de adobe | 64 |
| 5.1.1 Generalidades | 64 |
| 5.1.2 Sistema constructivo..... | 65 |
| 5.2 Espectros de Diseño para la zona de estudio | 67 |
| 5.2.1 Obtención del Espectro de Diseño Transparente Regional | 67 |
| 5.2.2 Obtención del Espectro de Diseño Modificado | 70 |
| 5.3 La realidad aumentada en la propuesta arquitectónica | 71 |
| Conclusiones | 77 |
| Índice de figuras..... | 78 |
| Índice de tablas | 80 |
| Referencias..... | 81 |

Introducción

El presente Proyecto de Investigación tiene como enfoque brindar atención a la vivienda rural, específicamente a la que se localiza en el Municipio de Ecatzingo, Estado de México. El Proyecto ha sido realizado desde una perspectiva cuantitativa, con base en el Método Científico. El Problema de la investigación se ha centrado en “El mejoramiento en los sistemas y materiales constructivos de la vivienda rural”, derivado de los sismos de septiembre de 2017.

Debido a que el Municipio de Ecatzingo se encuentra en una zona sísmica y que fue uno de los municipios más afectados por el sismo, el proyecto fue dirigido al mejoramiento del Sistema Constructivo para la vivienda rural a través de una propuesta basada en materiales de la región, que además de dar soporte a los efectos causados por los movimientos telúricos, se presente como una propuesta económica para los pobladores de la región.

Como una condicionante de importancia, se requiere que el sistema constructivo sismorresistente propuesto, sea amigable con el medio ambiente considerando la vida útil de los materiales de la región, para lo cual se analizaron los sistemas constructivos de la comunidad rural del municipio, donde fue posible observar el uso de materiales en elementos verticales como horizontales, entre otros como los siguientes:

- Adobe.
- Blocks de concreto.
- Piedra de volcán.
- Láminas de cartón.
- Carrizos.
- Entre otros.

Como parte de la investigación, fue necesario realizar un sondeo de las viviendas rurales afectadas por el sismo, encontrando la combinación del concreto con la tierra, lo que posiblemente fue perjudicial, afectado a la estructura de la vivienda al formar una fisura vertical en medio de los muros o el desprendimiento de los castillos con los muros de adobe.

Con pruebas del laboratorio llevadas a cabo en la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, se obtuvo en la máquina de compresión, con respecto a tres especímenes una resistencia de 3 kg/cm².

Los ensayos que se realizaron en la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía:

- Primero. - Se elaboró la prueba de sedimentación, donde fue posible observar el abundamiento de partículas de arena, propiciando una menor resistencia a la compresión y al cortante-

- Segundo. - Se realizó la prueba de retracción, que consiste en elaborar un aplanado y colocarlo a la intemperie durante una semana para verificar las fisuras, detectando menor agrietamiento a comparación de una tierra con arcillas.

También se realizaron pruebas en la Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

- Primero. - Se elaboró la prueba de análisis granulométrico, donde fue posible observar el porcentaje de partículas de arena, arcillas y gravas que contiene la tierra que fue recolectada de la zona de estudio.
- Segundo. - Se realizó la prueba de límites de consistencia, que consiste en humectar la tierra y colocarlo en el penetrómetro donde se obtiene el número de golpe. Posteriormente, se procede a pesar el espécimen en la báscula donde al final se introduce en un horno para dejarlo reposar durante dos días. Con esta información se consigue el límite plástico y líquido.

Para el alcance de lo anterior, inicialmente se plantearon una serie de preguntas que finalmente se abordaron durante el desarrollo del proyecto:

- ¿Qué realmente fue lo que falló en las comunidades rurales?
- ¿Qué se puede mejorar para obtener superiores resultados?
- ¿Por qué fallaron los materiales que fueron afectados por el sismo?

Lo que a su vez, permitió dar orientación al objetivo principal del Proyecto de Investigación, el cual se indica a continuación:

- Modificar el material a utilizar en la vivienda rural, combinándolo con puzolana volcánica para mejorar el sistema constructivo de la zona de estudio Ecatzingo, Estado de México.

Lo que a su vez, dio apertura para retomar aspectos teóricos basados en autores especializados, entre otros los siguientes:

De entrada, el Arquitecto Wilfredo Carazas¹ (2002) define la vivienda parasísmica como “aquella que está construida con un conjunto de principios técnicos constructivos y de diseño apropiados para enfrentar un sismo”. También menciona algunos ejemplos que se evitan en viviendas en zonas sísmicas: las formas de los edificios en “T” y “C”, las vigas del falso techo colocadas encima del muro directamente, evitar grandes espacios abiertos entre muros y construcciones hechas en terrenos con pendiente.

¹ Carazas W. (2002). *Guía de construcción parasísmica*. Francia, Equipo CRATerre-EAG. Pág. 6.

Otro concepto que se toma para este proyecto de investigación es del adobe de acuerdo con Gernot Minke² lo define como es el bloque de barro producido a mano relleno en moldes y secado al aire libre. Su historia data en Terquestán Rusia del 8000 al 6000 a.C. y en Asiria del 4000 a.C.

El Proyecto de Investigación para su desarrollo, requirió el diseño de un trabajo organizado, por lo que se decidió partir del Método Científico a través de la experimentación, mediante la realización de pruebas en laboratorio (citadas en líneas anteriores).

La Metodología por tanto fue construida a través de una serie de Etapas que dieron la pauta al desarrollo paulatino del Proyecto:

- Etapa 1.- Teórica.
- Etapa 2.- Explorativa.
- Etapa 3.- Experimental.
- Etapa 4.- Analítica.
- Etapa 5.- Informativa.

El desarrollo fue concebido como un proceso, concebido con la experimentación como el detonante principal, pero retomando actitudes de profunda reflexión, cuyas líneas de investigación se definen como se indica;

- Conocimiento del sentido científico³.- *Se realiza con sujeción a fines determinados por la propia ciencia o por la necesidad de solucionar los problemas que plantea el desarrollo social y económico.*
- Uso de instrumentos especialmente diseñados⁴.- *En la ciencia se recrean y elaboran medios especiales de conocimiento de diferente naturaleza; materiales (aparatos, instalaciones experimentales); métodos de cálculo, teorías matemáticas, etc.); lingüísticos y lógicos (lenguajes artificiales, reglas de estructura de las definiciones en la lógica de la demostración, etc.); la ciencia suele utilizar un lenguaje científico que, aunque tiene como lenguaje el propio lenguaje natural, introduce y construye una simbología y sistemas deductivos especiales.*

² Minke G. (2005). *Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Uruguay, Fin de Siglo. Pág. 72.

³ Bueno S. (2003). *La investigación científica: Teoría y Metodología*. México, Univ. De Zacatecas. Pág. 12

⁴ Ídem

En las Etapas citadas, fue necesario considerar una serie de técnicas relacionadas con cada uno de los momentos de la Investigación, mediante un proceso sistematizado que de cualquier forma requirió del análisis y en momento de la reflexión:

- Problemática de la investigación; la teoría⁵.
- Búsqueda de fuentes de trabajo científico⁶.
- Exploración de la literatura⁷.
- Acceso a documentos a través de internet⁸.
- Análisis de datos⁹.
- Entre otros.

De tal forma que el Proyecto de Investigación fue construido a partir del contenido que a continuación se describe:

Capítulo 1. La tierra; historia, usos y sistemas constructivos.

- En este capítulo se habla de los usos de la tierra que se utiliza en la arquitectura donde se toma de ejemplo: el adobe, el bajareque, la tapia, el cob, entre otros; así como se ejemplifica con construcciones que ocuparon este tipo de materiales para tener una clarificación del tema. También, se mencionan teóricos donde se fundamenta este proyecto de investigación uno de ellos es el Dr. Luis Fernando Guerrero Baca que es participé de este proyecto y ha escrito varios artículos de arquitectura de tierra donde menciona los materiales que fueron utilizados en el territorio latinoamericano. Además, el Arquitecto Wilfredo Carazas es un teórico importante porque inicia en sus libros con la definición de la arquitectura parasísmica donde menciona los errores comunes que se hacen al construir las viviendas de tierra, ejemplifica las fallas estructurales que son ocasionadas por movimientos telúricos y propone un sistema constructivo a base de reforzamiento de los muros de adobe. Por último, el Arquitecto Gernot Minke puntualiza la definición del adobe y relata una breve historia de su uso de este material, así como, de otros sistemas constructivos de tierra.

⁵ Bunge M. (1972). *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*. La Habana, Ciencias Sociales, Pág. 190.

⁶ Maya E. (2014). *Métodos y técnicas de investigación*. México, UNAM. Pág. 37.

⁷ Ídem

⁸ Página electrónica de la Facultad de Educación, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, Biblioteca Gerardo Sellés Solá. Curso "Contra el plagio: Manejo de fuentes documentales, citación y catálogos de búsqueda electrónicos" Facultad de Arquitectura (octubre/2013).

⁹ Morse J. M. (2000). *Principles of quantitative inquiry*. Edmonton, University of Alberta. Pág. 156.

Capítulo 2. Condiciones generales de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México.

- En este capítulo se aborda las condiciones naturales, geográficas y geotécnicas de la zona de estudio del municipio de Ecatzingo de Hidalgo del Estado de México. Así como, las actividades sísmicas y volcánicas que se han presentado desde el año de 1907 hasta la fecha en este lugar. De igual manera, se menciona las edificaciones que fueron dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 donde se hizo un recorrido y se fotografiaron las viviendas más afectadas que aún estaban vigentes para el año 2019; se observó desprendimiento por parte de los adobes hacia los elementos estructurales de concreto como las cadenas y castillos. En efecto, se percibe viviendas dañadas de adobe al mezclar materiales naturales con artificiales a diferencia de ser uniforme los materiales, pero en una casa se pudo ver fallas estructurales en los muros donde posiblemente sea debido a la deficiencia de castillos en tramos mayores a 4 metros, así como, dimensiones menores a 15x15 cm.

Capítulo 3. Pruebas generales del material de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México.

- En relación con este capítulo se centra en los ensayos y pruebas que se realizaron con la tierra y adobe que fueron recolectados de la zona de estudio. En lo que toca a los primeros ensayos que son el de sedimentación, cohesividad y retracción se hace un relato breve de su procedimiento y un resumen de los datos que se obtuvieron con base en las mediciones, estos ensayos fueron realizados en la ENCRyM. Mientras tanto, con las pruebas de laboratorio de los límites de consistencia, retracción volumétrica, análisis granulométrico y resistencia a la compresión fueron realizados en la FES Aragón dentro del Laboratorio 4, se explica brevemente los datos obtenidos con forme en tablas, así como el proceso de la elaboración como los materiales e instrumentos de laboratorio que se ocuparon. Finalmente, se hace notar los resultados de la tierra que se recolectó y del adobe dañado por efectos del sismo.

Capítulo 4. La tierra y el estabilizador; la arcilla.

- El siguiente capítulo trata del estabilizador que se ocupará, es decir, la arcilla y esto es debido al resultado de las pruebas que se le efectuaron a la tierra donde se percibe un incremento en arenas y una deficiencia en arcillas. Por lo tanto, se le agrega un 10 por ciento se realizan los ensayos de cohesividad, sedimentación y retracción para saber su comportamiento. Posteriormente, se hace el mismo procedimiento con un 30 por ciento en arcillas y finalmente un 50 por ciento en arcillas. El fin de este procedimiento es saber el comportamiento con arcillas y si con este estabilizador puede llegar a obtener mejores resultados a diferencia donde solamente se utiliza el tepetate con el ocomozote y la ceniza. Estos ensayos se realizaron fueron del laboratorio, es decir, en campo debido a la pandemia que México atravesó e hizo cambiar los

protocolos educativos y de trabajo, así mismo, llevándonos a una cuarentena total para salvaguardar nuestra integridad.

Capítulo 5 Aplicaciones a la arquitectura.

- Para finalizar con este proyecto de investigación se llega al último capítulo donde se realiza la aplicación del mejoramiento del sistema constructivo integral hacia la vivienda rural pero para esto se hace simulaciones en el programa de maya, Android Studio y Unity para que las personas puedan observarlo en Realidad Aumentada con ayuda de marcadores. Además, se hace una breve simulación digital de cómo reaccionaría ante un movimiento telúrico. También se realiza una animación del armado del sistema constructivo con ayuda del programa Unity y Maya. Este proyecto de investigación tiene el fin de llevarlo a cabo a la práctica con un curso-taller con los pobladores de la comunidad rural de esta zona de estudio ya que, las tradiciones de la arquitectura de tierra se han ido perdiendo porque optan por otros sistemas constructivos como el concreto armado, acero o mamposterías de tabiques cuando México se ha caracterizado por su vasta cultura y tradiciones que nos han llevado a nivel mundial. Finalmente, es un producto que se comparte con los usuarios para que puedan sentirse más seguros y las viviendas tengan una mayor seguridad estructural.

Al final de los Capítulos descritos en las líneas anteriores, se incluyen las Conclusiones, las cuales reúnen de forma sintética el trabajo realizado y un análisis del mismo, el cual permite determinar el resultado final del Proyecto.

Planteamiento del Problema

En el periódico The New York Times (septiembre 2017) el investigador geofísico Gavin Hayes del Servicio Geológico de Estados Unidos, comentó “La zona de subducción responsable de los dos terremotos recientes va a lo largo de la costa de Centroamérica, desde el centro de México a Panamá”. En el artículo del Servicio Geológico de México menciona “México se encuentra en una de las zonas de subducción de la Tierra, donde el fondo oceánico de la placa tectónica de Cocos está forzando su descenso ("subduciendo") bajo el borde continental de la placa Norteamericana.”

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2017) “El municipio Ecatzingo fue uno de los más afectados durante el sismo del 2017 donde al menos 800 construcciones se vieron afectadas”. Según el INEGI en el año 2010 se contaba en el municipio de Ecatzingo un total de 2060 viviendas. Por lo tanto, se registró casi un 50% de viviendas afectadas por este movimiento telúrico.

Respecto a la presencia de fallas geológicas en este municipio, se han identificado zonas de fracturamiento, debido a las características del material rocoso, el cual es de origen volcánico de carácter andesítico basáltico. Existe un sistema de fallas y fisuras no visibles que se extienden más allá del municipio corriendo a lo largo del mismo en dirección noreste– suroeste. La formación de estas fallas tiene su origen con la formación del sistema de la sierra nevada y en especial con la formación del volcán Popocatepetl. (Atlas de riesgos, 2020, pp. 12).

Debido a los sismos de 2017 el municipio de Ecatzingo fue declarado zona de desastre por la gran cantidad de viviendas e infraestructura educativa y cultural que se vieron gravemente afectadas por colapso total y daños severos. ya que convergen una diversidad de suelos que va desde el pedregoso, arcilloso, y arenoso. La comunidad de Ecatzingo se encuentra mayormente asentada en lugares de alto riesgo como lo son en laderas, barrancas, lechos de río, todo esto debido a la topografía y a un crecimiento urbano sin regulación ni normatividad desencadenando en lugares de alto riesgo que originan deslizamiento, desprendimientos por los cambios de uso de suelo, la deforestación, desertificación considerados daños externos y al mismo tiempo daños internos como cortes, reblandecimiento por fosas sépticas, drenajes y filtraciones. (Atlas de riesgos, 2020, pp. 72).

Además de esta información en el municipio se ha perdido las tradiciones de la arquitectura de tierra y remplazándolo con materiales como el block, tabique, ladrillo y el concreto armado. Los pobladores optan por este tipo de materiales y autoconstruyen sin tomar en cuenta la normativa de la construcción, esto es otro de los motivos del derrumbe de varias viviendas y colapsos.

El Problema de esta investigación se centra en los efectos causados por los sismos en los sistemas y materiales constructivos de la vivienda rural en el Municipio de Ecatzingo, Estado de México. Cuya propuesta estará dirigida a implementar un Sistema Constructivo para la vivienda rural en el Municipio de Ecatzingo.

Una de las fallas en los muros comenta el Arq. Enrique Gómez Osorio supervisor del Centro Puebla del Instituto Nacional de Antropología e Historia para Izúcar de Matamoros en el periódico El Herald de México (septiembre 2017) “La gente trata de ahorrar dinero y el tabique rojo es cada vez más poroso y de mala calidad, al igual que el bloc, que es hueco, y surge de combinar arena con cemento”.



Justificación

El Proyecto de Investigación se justifica porque aborda y busca aportar soluciones técnicas un problema que incide en los siguientes aspectos:

- Representa un problema focalizado (caso de estudio), que se ubica en la zona de Ecatzingo, Estado de México (cercana al volcán Popocatepetl), cuyas afectaciones se deben al sismo presentado en septiembre de 2017, con epicentro a 12 km de Axochiapan, Estado de Morelos, cuyo efecto se debe a un movimiento de placas tectónicas (México se encuentra entre 5 placas tectónicas y el Cinturón de Fuego).
- Afecta a un sector social marginado.
- Las condiciones de habitabilidad en el sitio que ocupa el caso de estudio, se han encontrado en las mismas condiciones a lo largo del tiempo.
- En el sitio donde se encuentra el caso de estudio, no se han llevado a cabo estudios relacionados con el tema, lo que le da vigencia y lo valida.
- La Investigación parte de un problema definido y plantea una solución arquitectónica relacionada con las técnicas y los materiales constructivos, que implican la elaboración de pruebas con materiales de la región en los laboratorios de la FES Aragón y la UAM Xochimilco

Objetivos del Proyecto de Investigación.

El Proyecto de Investigación contempla un Objetivo General, que determina la aportación que al final del trabajo se tendrá y Objetivos particulares, los cuales dan cauce al desarrollo del proyecto y sobre todo, al logro de las metas que se plantean paulatinamente.

Objetivo general.

- Modificar el material a utilizar en la vivienda rural combinándolo con puzolana volcánica para mejorar el sistema constructivo de la zona de estudio Ecatzingo, Estado de México.

Objetivos particulares

- Conocer particularidades sobre el uso de la tierra y los sistemas constructivos derivados de esta a través del tiempo, para contar con aspectos preliminares relacionados con el tema que trata el proyecto.
- Reconocer las condiciones físicas del sitio en el cual se alberga el caso de estudio, para considerar las posibles propuestas técnicas a proponer.

- Realizar pruebas de laboratorio a los materiales de la región, para denotar sus condiciones, características y resistencia que presentan frente a una condición de riesgo por sismo.
- Analizar las características de la puzolana volcánica.
- Determinar resultados y posibles aportaciones derivadas de las pruebas realizadas, para posibilitar un planteamiento de solución al problema de la investigación.

Hipótesis del Proyecto de Investigación

El Proyecto de Investigación como se ha descrito con anterioridad, aborda un problema definido, así como un caso específico de consideración, lo que le da enfoques técnico – arquitectónicos, sociales, etc., concretos.

Sin embargo, la Hipótesis principal se dirige a la aportación de índole técnico – constructivo:

- El uso del adobe con puzolana volcánica permitirá brindar mayor seguridad constructiva y estructural a la vivienda de Ecatzingo, Estado de México.
- Al utilizar el adobe con puzolana volcánica, se tendrá un beneficio en las viviendas generando mayor estabilidad estructural y seguridad a los usuarios.
- Lo anterior tendrá mayor aportación comparativamente frente a los materiales utilizados regularmente como el tabique, láminas de cartón y carrizos.

Metodología de la Investigación

El proyecto de investigación se basa en el método científico donde se divide en 5 fases: teórica, explorativa, experimental, analítica e informativa, las que se describen a continuación:

Fase Teórica. - Se realiza la búsqueda de autores que sustentan el presente proyecto de investigación. Uno de los teóricos fundamentales es el Arquitecto Gernot Minke donde se cita varios aportes que obtuvo en la arquitectura de tierra.

De igual manera, el Doctor en Arquitectura Luis Fernando Guerrero es base primordial en este proyecto de investigación, su experiencia en arquitectura de tierra es amplia que permite dar pauta a ser muy enriquecedor este proyecto, ya que, cito sus artículos donde menciona la intervención a las viviendas de arquitectura de tierra que tuvieron afectaciones por el sismo del 19 de septiembre de 2017. Otro teórico que es pilar en este proyecto es el Arquitecto Wilfredo Carazas donde se cita la arquitectura de tierra parasísmica.

Fase Explorativa. - Aquí se recopila información de la zona de estudio citando la información obtenida del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a fin de aclarar el comportamiento geológico y su contexto físico.

Por otra parte, se cita información del Atlas de Riesgos del Municipio de Ecatzingo de Hidalgo, Estado de México en relación con las actividades sísmicas y volcánicas del lugar. Por último, se hace un recorrido en la zona de estudio conforme con las viviendas afectadas por el sismo suscitado donde la mayoría de estas son construidas con adobe y combinadas de elementos estructurales a base de concreto armado. De igual manera, se detectaron otro tipo de géneros de edificaciones dañadas como: educación, religión y gobierno.

Fase Experimental. - Se recopilan especímenes y muestras de la zona de estudio, es decir, se recolecta adobes de viviendas afectadas por el sismo y la tierra de tepetate de la zona de estudio. Posteriormente, se les realiza pruebas al adobe y la tierra en los laboratorios de la Facultad de Estudios Superiores Aragón (FES) y en la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRyM). Los ensayos son realizados de acuerdo con el libro Manual de Construcción en Tierra y las pruebas del laboratorio son hechas con base en las ASTM-D2216-90.

Fase Analítica. - De acuerdo con el Estudio de Mecánica de Suelos del tepetate que se realizó en el Laboratorio de la FES Aragón, se obtuvo una deficiencia en arcillas donde en la cuarta

fase que corresponde a la analítica se efectúa un mejoramiento con diferentes porcentajes de arcilla. Se elaboran los ensayos de cohesividad, sedimentación y retracción volumétrica. Posteriormente, se consigue la mejor propuesta para realizar los adobes.

Fase Informativa. - Aquí se desarrolla la propuesta del mejoramiento del sistema constructivo en un proyecto de vivienda rural el cual se presenta un proyecto arquitectónico partiendo de las necesidades que requieren una familia de esta comunidad. Ante este proyecto se realiza la visualización con realidad aumentada para comprenderlo mejor y mostrar su representación gráfica ante los usuarios.

En el cuadro siguiente se resumen las Fases que han sido adoptadas para el Proyecto de Investigación:

| Metodología de la Investigación | | | | |
|--|---|--|--|--|
| Investigación cuantitativa | | | | |
| Fase teórica | Fase Explorativa | Fase Experimental | Fase Analítica | Fase Informativa |
| Capítulo 1 La tierra; historia, usos y aprovechamiento. | Capítulo 2 Condiciones generales de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México. | Capítulo 3 Pruebas generales del material de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México. | Capítulo 4 La tierra y el estabilizador; la arcilla. | Capítulo 5 Aplicaciones a la arquitectura. |
| Técnicas aplicadas: Exploración de la literatura. Investigación documental. Análisis documental. | Técnicas aplicadas: Exploración de la literatura. Investigación documental. Análisis documental. Entrevista dirigida. Delimitación del problema. Visita de la zona de estudio. Recolección de las muestras. | Técnicas aplicadas: Exploración de la literatura. Investigación documental. Análisis documental. Observación participante. Investigación participativa. Trabajo colaborativo. Realización de pruebas de laboratorio. | Técnicas aplicadas: Reducción, disposición y transformación de datos. Análisis de los ensayos resultantes. Observación participante. | Técnicas aplicadas: Elaboración documental. Aplicación de la propuesta. |

En la Fase teórica se llevó a cabo la exploración de la literatura mediante libros, información de internet, elaborando un análisis documental donde se citan algunos autores en el capítulo 1 siendo de mis referentes teóricos que sustentan el documento del proyecto de investigación.

En cuanto a la Fase Explorativa, se lleva a cabo un censo de las viviendas afectadas por el sismo de septiembre de 2017 por medio de entrevistas y recolección de especímenes da pauta a un mayor conocimiento del municipio de Ecatzingo, Estado de México. De igual manera, se consulta bibliografía como el Plan de Desarrollo Urbano y el Atlas de Riesgos del municipio antes mencionado, esto para recabar información relevante al contexto físico, actividad volcánica y actividad sísmica del sitio.

Posteriormente, en la Fase Experimental se lleva a cabo las pruebas requeridas para saber el comportamiento del espécimen que fue recolectado del municipio, tales pruebas, son realizadas tanto en los laboratorios de la FES Aragón y la ENCRyM con ayuda de cada personal referente a la institución. Llevando acabo técnicas como la observación y comportamiento dentro de las pruebas y ensayos. De igual manera, se investiga en bibliografía acerca de las Normas que le rigen para llevar a cabo un procedimiento correcto.

También, en la Fase Analítica se elaboran ensayos con el material recolectado del municipio, esto para obtener una mejoría y poder evaluarlo qué comportamiento resulta de los ensayos efectuados. Ante eso, se elabora un análisis de diferentes porcentajes añadiendo arcilla para obtener el mejoramiento deseado, llevando a cabo las técnicas de observación y transformación de datos.

Finalmente, la Fase Informativa donde se procede a llevar a cabo el producto final en un proyecto arquitectónico mediante realidad aumentada para la observación de este. Así como, las conclusiones del proyecto de investigación y la impresión de este.

CAPÍTULO 1



La tierra; historia, usos y aprovechamiento

Capítulo 1. La tierra; historia, usos y aprovechamiento.

1.1. Características de la tierra

El material tierra proviene de la erosión mecánica y química de la roca madre. Esta roca se desagrega en partículas minerales de dimensiones variables desde los guijarros¹⁰ hasta los polvos arcillosos. (Gatti, 2012, pp.10). De acuerdo con Patrick Bardou (1981) define “*la arquitectura como o el conjunto de edificios construidos con tierra sin cocer, excluyendo a la vez la arquitectura de ladrillo (tierra cocida) y las cavidades abiertas en los terrenos blandos*”.

A la hora de hacer construcciones con tierra no todos los tipos de tierra son adecuados para construir, ya que, se selecciona la tierra adecuada para la técnica constructiva a utilizarse. El requerimiento básico es que la tierra no contenga materiales orgánicos, hongos, raíces, bacterias, etc. Se verifica con las proporciones de grava, arcilla, arena y limos que tiene la tierra (figura 01), para obtener las características plásticas¹¹ correctas y saber si se utiliza la ayuda de estabilizantes como la paja, cal, cemento, entre otros. (Gatti, 2012, pp.10).

En la figura 02 se observa la tierra que absorbe el agua, las arcillas comienzan a hincharse, es un proceso lento que necesita de tiempo. La tierra se seca, las arcillas disminuyen de volumen atrayendo hacia ellos los otros componentes que se encuentran en estado totalmente seco y ligados. (Gatti, 2012, pp.12).

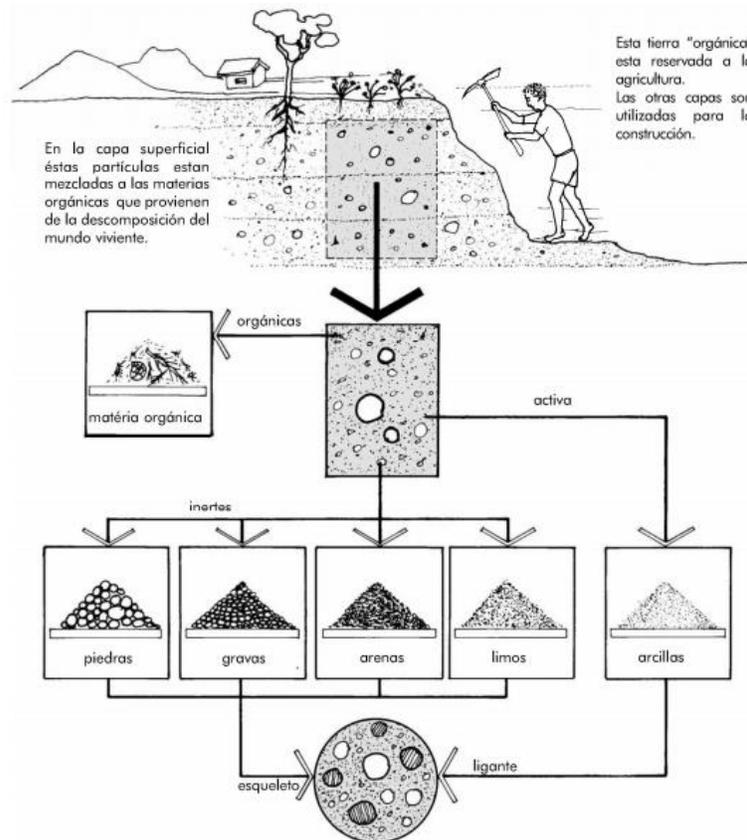


Figura 01. El ciclo de la tierra. Recuperado de CRATerre

¹⁰ Se refiere a las piedras pequeñas y redondeadas, generalmente se encuentran en las orillas de los ríos y mares.

¹¹ Puede tener cuatro estados de consistencia: líquido, sólido, semisólido y plástico estos límites se definieron por el científico Atterberg. (Minke, 1994, pp 30).

También se percata en la imagen de la parte inferior el cambio del estado plástico al líquido esto es debido al porcentaje de agregado de agua, es decir, cambia de ser solido a líquido. Cuando se agrega más agua de la debida al espécimen, la tierra se transforma a un estado líquido donde se dificulta trabajar con ella para elaborar adobes.

De acuerdo con Gabriel Barbeta (2002) existen tres sistemas generales de transformar la tierra en elementos de construcción:

“1. *Fabricación de pequeños elementos individuales (ladrillos, bloques o similares), que se unen con mortero para realizar una obra de fábrica.*

2. *Amasado de la tierra y moldeo de muros de una pieza, dando lugar a una construcción monolítica¹².*

3. *Recubrimiento o relleno de tierra en una estructura de un material diferente. En este caso, la tierra no es portante¹³ y la solidez del edificio depende principalmente de la estructura portante.”*

La tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena, que algunas veces contiene agregados mayores que una grava y piedras. En Ingeniería sus partículas se definen dependiendo de su

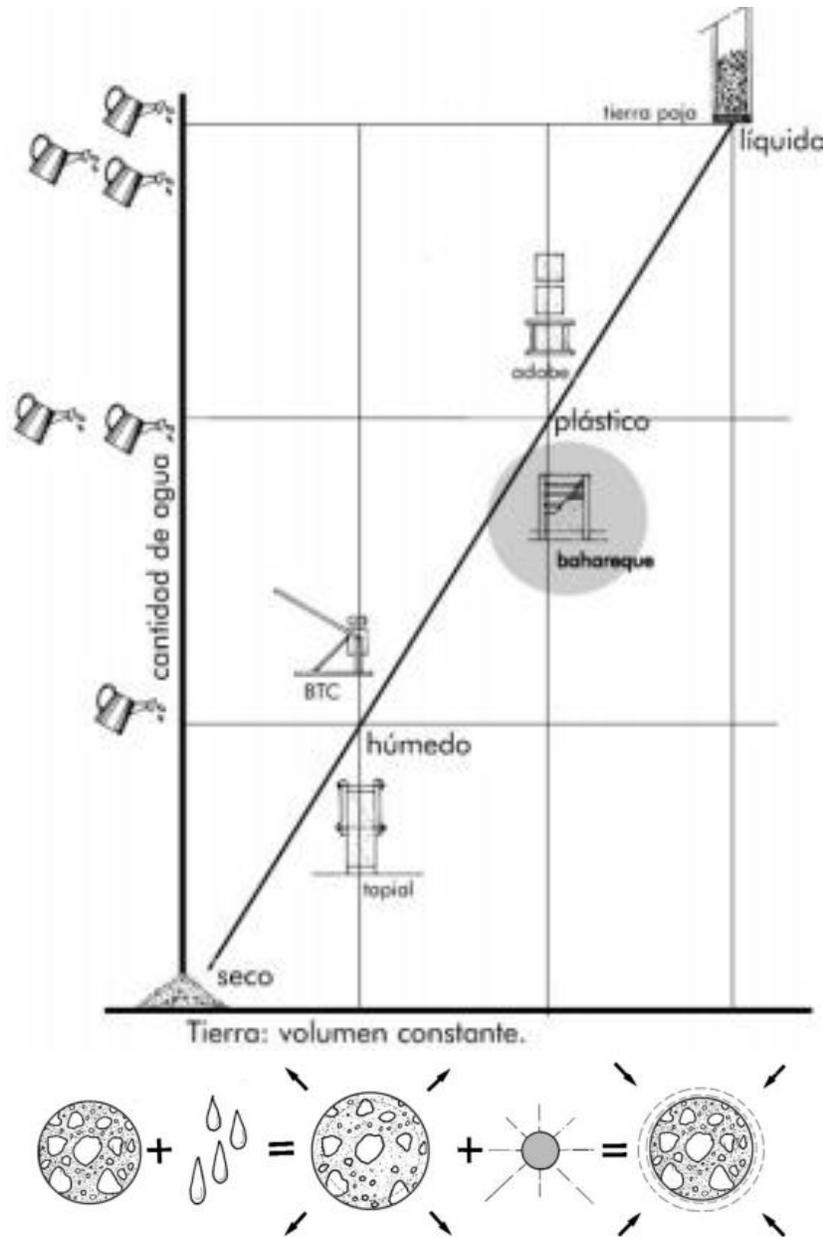


Figura 02. Gráfica de volumen-constante Recuperado de CRATerre.

¹² Se refiere al ser elaborado en un solo bloque con material natural.

¹³ Cuando un elemento tiene la capacidad de soportar otros elementos estructurales de la edificación.

diámetro: partículas con diámetros menores a 0.002 mm se denominan arcillas, entre 0.002 y 0.06 mm se le considera limo, y entre 0.06 y 2 mm de arena. Partículas mayores se denominan gravas y piedras. (Barbeta, 2002, pp 23).

1.2. Usos de la tierra en la Industria de la construcción.

Los usos en la industria construcción han ido aumentando con el paso del tiempo, ya que antes se contemplaba solo el adobe y el tapial, actualmente hay dos sistemas de clasificación de las tecnologías de construcción con tierra:

- En primer lugar, el elaborado por el Instituto CRATerre¹⁴, que se basa en el sistema de fabricación y ejecución organizado.
- En segundo lugar, el sistema Hays-Matuk que clasifica en función del tipo de estructuras resultantes¹⁵. (Yuste, 2010, pp 19).

1.2.1. Técnicas tradicionales con tierra

Tapial: Esta técnica consiste en la construcción de muros mediante la compactación de tierra con un pisón entre unos tablones de madera, llamados tapieras y el proceso de fabricación de la tapia consiste en el vertido entre las tapieras de tongadas de tierra de entre 10-15 centímetros de espesor, que se va apisonando sucesivamente hasta alcanzar la altura deseada del muro, la separación de las tapieras nos dará el espesor del muro que podrá variar entre 40 centímetros y 2 metros. (Yuste, 2010, pp 20).

La técnica consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón. El encofrado está compuesto por dos tablones paralelos separados, unidos por un travesaño.

Adobe: Minke (2006) al adobe lo define como “*los bloques de barro producidos a mano rellenando barro en moldes y secados al aire libre*”. También, menciona lo que es un bloque de suelo y es “*cuando la tierra húmeda se compacta en una prensa manual o mecánica*”. En cambio un ladrillo crudo, se denomina como “*los ladrillos producidos mediante un extrusor en una*

¹⁴ Es el Centro Internacional para la Construcción de la Tierra que ha estado trabajando para reconocer el material de la tierra para responder a los desafíos relacionados con el medio ambiente, la diversidad cultural y la lucha contra la pobreza

¹⁵ Son estructuras que recibirán la fuerza ejercida por elementos de la misma edificación.

ladrillera, sin cocer". Por último, los bloques compactados o adobones son "*los bloques más grandes compactados en un molde*".

En cambio, Beatriz Yuste (2010) menciona dos ejemplos de adobes: el adobe estabilizado, que consiste al incorporarse otros materiales al adobe como cemento, emulsiones asfálticas u otros productos con la finalidad de mejorar sus condiciones de estabilidad frente a la humedad. El otro tipo de adobe es el armado que consiste en una variante desarrollada para mejorar el comportamiento antisísmico, permite la inclusión en la junta horizontal y vertical de refuerzos; se puede colocar caña brava, bambú, que van a cada 4 hiladas, amarrando los verticales con los horizontales y se deben fijar en los sobrecimientos, en cada esquina y a cada 1.50 metros de distancia.

Bloque de tierra comprimida: Este tipo de sistema de tierra es "*un elemento de albañilería hecho con tierra compactada en el molde por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato*" (Barbeta, 2002, pp 38). Este sistema debe de estar con bajo contenido en agua y el material suele estar estabilizado con cemento o cal hidratada, generalmente del 3% al 9 % de estabilizante y esto se hace para aumentar la resistencia física de erosión superficial y capacidad de carga. (Yuste, 2010, pp 27).

Cob: La técnica del cob consiste en el apilado sobre el muro de pelladas de barro y fibras vegetales, lo que permite que el volumen de estas sea superior. (Barbeta, 2002, pp 66). De acuerdo con Juana Font (1998) las viviendas construidas con cob fueron ejecutadas con "stacked balls" compuestas de una mezcla de tierra con paja y no se utilizaron encofrados.

1.2.2. Técnicas con tierra a base de sistemas mixtos

Bahareque: Es una técnica de barro lanzado utilizado en los climas tropicales, subtropicales y templados del mundo. La estructura consiste en elementos verticales y horizontales que forman una malla. El barro se mezcla con paja picada o a veces con fibras, se lanza o se compacta sobre la malla de tal manera que todos los elementos estén cubiertos con al menos 2 cm de la mezcla. Si este recubrimiento no cuenta con un espesor suficiente y si las fisuras no se reparan, la pared se deteriorará rápidamente. La consistencia del mortero a utilizar se comprueba fácilmente dejando caer una bola de 10 cm de diámetro desde una altura de 1 m sobre la superficie dura. Si el diámetro del disco aplastado que se forma es de 13 a 14 cm la consistencia es apropiada. (Minke, 1994, pp 99)

Wickelstaken: La técnica consiste en elementos formados con paja y barro enrollados alrededor de una estaca de madera; esta técnica tiene la ventaja que al endurecer casi no aparecen fisuras de retracción. Para este sistema se sumerge la estaca cubierta de paja en el barro sacándola con un movimiento giratorio o una estera de paja embebida en barro. Este tipo de técnica se utiliza más en Alemania y Francia (Minke, 2006, pp 100).

Lehmflaschen o botellas de barro: Es una técnica tradicional alemana que consiste en elementos verticales secundarios que se fijan cada 15 a 20 cm en la estructura del entramado. Las botellas se elaboran con manojos de paja entrecruzados en cuyo punto de intersección se coloca una porción de 1.5 litros de la mezcla. Los extremos del manajo se levantan envolviendo el barro. La botella se sostiene horizontalmente y el cuello se entrelaza alrededor del elemento vertical mientras la base se presiona contra el cuello de botella anterior. (Minke, 1994, pp 102).

Algunos ejemplos de las técnicas constructivas con tierra se mencionan en los incisos de la figura 03:

a) Es la casa Ayerbe ubicada en España de los Arquitectos Edra Arquitectos km0 elaborada de tapial con técnicas mixtas.

b) La casa Ximitl ubicada en el Estado de Morelos, México y diseñada por TIB Arquitectos, es una casa construida con muros de adobe, cimentación de mampostería y cubierta de bambú con madera.

c) La Escuela Infantil de Cataluña construida con BTC en el año 2010, construida por Casa alternativa Puig.

d) El proyecto Neubau Wohnhaus Flury es construido con cob es una vivienda unifamiliar diseñado por Spaceshop, localizado en Suiza.

e) Centro de Ecología está ubicado en Chile y diseñado por el Arquitecto Marcelo Cortes en el 2012; aplica una tecnología denominada tecno-barro que consiste en utilizar barro y acero junto con alambre de malla soldada.

f) El último proyecto que se muestra es una vivienda construida en Alemania a base de la técnica Wickelstaken.

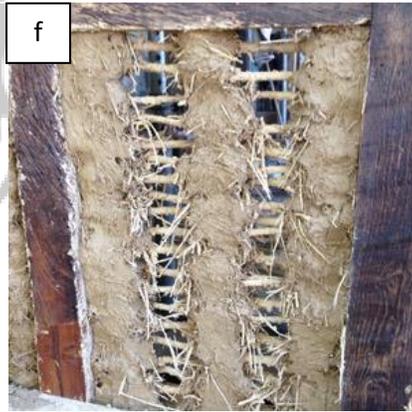


Figura 03. Proyectos y técnicas avanzadas. a) Casa vernáculo Ayerbe , España. Recuperado de <https://www.archdaily.mx/mx/792766/casa-vernacula-del-siglo-xxi-edra-arquitectura-km0>. b) Casa Xamitl. Recuperado de <https://www.arquine.com/casa-xamitl/>. c) Escuela Infantil de Cataluña. Recuperado de https://elpais.com/ccaa/2013/09/02/catalunya/1378151706_421839.html d) Neubau Wohnhaus Flury. Recuperado de <https://www.baunetzwissen.de/gesundbauen/objekte/wohnen/ wohnhaus-flury-in-deitingen-1556003> e) Centro de ecología aplicada. Recuperado de https://cea.cl/base_08-2/ f) Primer aderezo con arcilla de paja. Recuperado de <http://www.sunbau.com/lehmbau-historisch.php#> .

1.3. Tradición y modernidad en la vivienda rural

Las técnicas con tierra han ido avanzando con el paso del tiempo y no sólo se está utilizando en las viviendas rurales sino en proyectos de vivienda unifamiliar, como en la figura 3 se hace mención a la casa vernácula Ayerbe en España con la técnica de tapia o en proyectos más grandes como la Escuela Infantil de Cataluña a base de BTC. Entonces, las viviendas con tierra pueden aún resistir mayor a los movimientos sísmicos y para esto, hay proyectos que se han realizado alrededor del mundo. A continuación, se mencionan dos proyectos, uno en Perú y otro en España.

“El adobe es un material pesado, tiene mucha masa, pues entonces si viene un terremoto, se recuerda de la segunda ley de Newton, entonces con el movimiento sísmico van a aparecer fuerzas y como el adobe es masivo, las fuerzas van a ser grandes y lamentablemente el adobe es débil y no puede resistir a estas fuerzas y además es frágil pues cuando se rompe se rompe violentamente.” (M.Blondet, 2006).

1.3.1 Sistema constructivo de una vivienda de adobe

Para empezar, existen varios autores y arquitectos que menciona el sistema constructivo de una vivienda de adobe uno de ellos es el Arquitecto Blondet¹⁶ (2015, pp 14-15) donde menciona, una casa de adobe sismorresistente soporta los terremotos, a diferencia de una casa de adobe tradicional, es decir, sin refuerzo sísmico. De igual modo, para elaborar este tipo de casa; los cimientos y sobrecimientos son hechos con una mezcla de concreto y piedras que permite la resistencia y durabilidad. Asimismo, las paredes están hechas con adobes anchos y resistentes con una distribución regular de muros transversales¹⁷ con 4.00 metros de largo como máximo, altura máxima de 2.40 metros. Pero, además las ventanas y puertas centradas de 1.20 metros de ancho como máximo. Ahora bien, el terreno donde se desplanta la casa debe de estar firme y seco para resistir el peso de la casa.

¹⁶ Doctor en Ingeniería sismorresistente de la Universidad de California de Berkeley, USA. A su vez es Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)

¹⁷ Son los muros cortos que interceptan perpendicularmente a un muro largo.

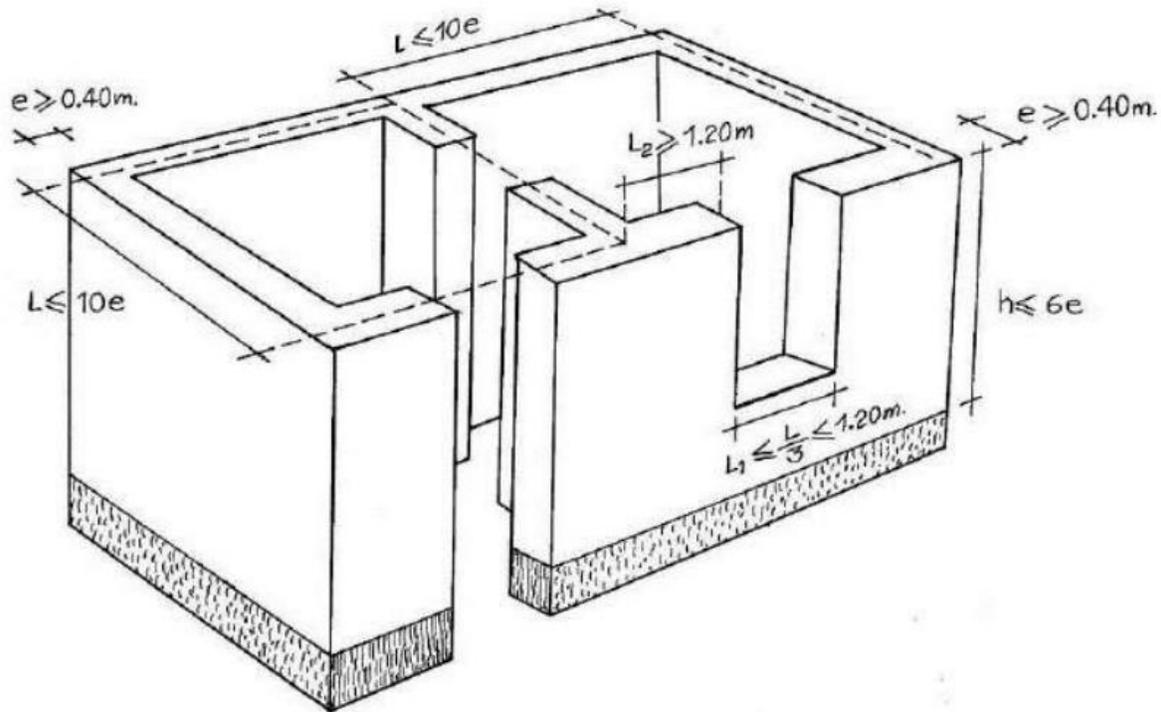


Figura 04. Recomendaciones para una casa sismorresistente. Recuperado de Pontificia Universidad Católica del Perú

Otro punto es la estructura de la casa donde el espesor del muro es mínimo 0.40 metros, la longitud entre los muros transversales no deberá pasar 10 veces el espesor de los muros. Asimismo, la altura de los muros no será mayor a 6 veces el espesor del muro. Por último, el ancho de las ventanas no es mayor de 1.20 metros pero la medida mínima será el largo del murete entre el muro transversal y el vano que se crea, como se observa en la figura 07. (Blondet, 2015, pp 10). A diferencia del Arquitecto Wilfredo Carazas Aedo¹⁸ contempla la vivienda parasísmica y la define como “aquella que está construida con un conjunto de principios técnicos constructivos y de diseño apropiados para enfrentar un sismo”. También menciona algunos ejemplos que se evitan en viviendas en zonas sísmicas: las formas de los edificios en “T” y “C”, las vigas del falso techo colocadas encima del muro directamente, evitar grandes espacios abiertos entre muros y construcciones hechas en terrenos con pendiente.

Ante todo, un adobe parasísmico tiene una forma cuadrada porque se adapta fácilmente al diseño de la vivienda, el aparejado es más ventajoso y su resistencia mecánica es mejor frente a adobes rectangulares; mide 0.30x0.30x0.10 metros y está elaborado con tierra arcillosa, tierra arenosa se utilizará tres porciones por una porción de tierra arcillosa, paja se utilizará una porción

¹⁸ Arquitecto egresado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Antonio Abad del Cusco.

por 10 porciones de tierra y agua se considera el 30% de volumen seco de la tierra. (Carazas, 2002, pp 11).

Por otra parte, el Arquitecto Luis Fernando Guerrero Baca menciona para la elaboración de un adobe, la tierra se tiene que dejar perfectamente humedecida el pisadero por un período no menor a los dos días, protegiéndola de la intemperie bajo una cubierta o con una cama de paja para conservar su humedad. Posteriormente se coloca el molde, previamente humedecido sobre el piso del tendal que ha sido rociado con arena. El barro hidratado y en estado plástico se arroja con fuerza dentro del molde y se comprime con la mano o los pies, repartiéndolo perfectamente hacia las esquinas hasta el llenado total. Posteriormente se enrasa la superficie con la mano humedecida o con la ayuda de una regla de madera. Finalmente se retira la gavera cuidando levantarla verticalmente y con decisión para evitar la deformación de las aristas. (Guerrero, 2007, pp 192).

Después, los adobes se dejan a la intemperie para lograr un secado homogéneo. En regiones con climas demasiado extremos y con asoleamiento intenso, será necesario proteger las piezas con una cubierta liviana o bajo una cama de paja durante las dos o tres primeras horas para evitar que se deformen o agrieten por un secado diferencial. Dependiendo de las condiciones del sitio, se podrán poner de canto para que se ventilen adecuadamente en tres o cuatro días, y en un par de semanas se podrán almacenar, cuidando que tengan la separación suficiente para que el aire circule entre ellos. (Guerrero, 2007, pp 192).

Por otra parte, las dimensiones de los adobes están relacionadas con el posible manejo de las piezas y la velocidad de avance de la obra. Muchos edificios de la época colonial tenían adobes de 60 x 45 x 10 cm, pero debido a que llegaban a pesar más de treinta kilos, en muchos sitios tradicionales se han disminuido las dimensiones a 48 x 24 x 8 cm. Existen diferentes aparejos o maneras de acomodar los adobes para constituir muros. El más frecuente es el aparejo “en sogá”, es decir, con las piezas alineadas con su lado largo paralelo al desarrollo del muro. Sin embargo, esta colocación es la menos aconsejable debido a la inestabilidad de la estructura como resultado de su relación de esbeltez. Finalmente, los aparejos más recomendables para lograr muros de por lo menos 36 cm de ancho suelen ser “a tizón”, o sea con el lado largo de los adobes perpendicular al desarrollo del muro o en hiladas alternas a tizón y doble sogá –aparejo americano. (Guerrero, 2007, pp 193).

1.4 Reforzamiento de las edificaciones de adobe.

1.4.1. Edificaciones mesopotámicas de tierra

En Mesopotamia por el año 3000 a.C. se empleaban adobes para la construcción de Zigurats los principales esfuerzos a los que éstos se veían sometidos eran los de compresión y la resistencia que se utilizaba usualmente era de 30 y 40 kg/cm². Este adobe era formado por la mezcla de barro y briznas paja, sin coser y secado al sol. Esta civilización estabilizaba su arcilla con asfalto y afectaba en particular a las fracciones más finas como arcillas y limos que son elementos inestables en presencia del agua. Para unir estos adobes, el mortero que utilizaban era de la materia constituida por el adobe, pero en estado fresco. (Vargas y Mileto, 2010, pp. 109-110).

En las excavaciones arqueológicas de Koldewey y de Schmid en el núcleo del zigurat se constató la existencia de una capa entramado de cañizo embetunada con asfalto por ambas caras cada siete hiladas. El cañizo era obtenido de las riberas del cercano Río Éufrates. De acuerdo con esta costumbre de intercalar entramados de cañas entre hiladas de fábrica, se podría afirmar que la cultura mesopotámica es la precursora de la técnica de la tierra armada. El zigurat mesopotámico mejor conservado, el de Dur Kurigalzu, cada ocho o nueve hiladas de ladrillos se disponía una capa de entramado de cañas sobre un lecho de 8 cm de grava y arena, como se observa en la figura 05. Así como, el zigurat de Uruk se han documentado capas de cañas intercaladas entre las hiladas de adobe y restos de anclajes hechos con cuerdas de 10cm de diámetro con el objetivo de asegurar la cohesión interna del macizo de adobe.



(Vargas y Mileto, 2010, **Figura 05. Entramado en adobes.** Recuperado de <https://www2.uned.es> pp. 110-111).

La inclinación es un punto importante, ya que, evidentemente a un menor ángulo se corresponde con una mayor estabilidad constructiva. En la reconstrucción de la torre de Babel ofrece una inclinación de 47 a 53°. (Vargas y Mileto, 2010, pp. 113).

1.4.2 Vivienda vernácula en México

El Doctor Luis Fernando Guerrero Baca realizó una visita en Huehuetlán el Chico, Puebla donde encontró casas que han resistido los sismo, ya que, a cada dos o tres hiladas de adobes se acostumbra a colocar pares de varas de un arbusto que se llama "coatecomate", como se puede observar en la figura 06 porque este sistema constructivo incrementa la capacidad de los muros y disipa la energía sísmica.



Figura 06. Ramas de arbustos en adobes. Fotografía de Dr. Guerrero, 2017.

Otro ejemplo, es en la figura 07 donde se observa la vivienda afectada por el sismo en Huehuetlán, El Chico pero las juntas de los adobes contienen ramas que posiblemente haya ayudado, ya que, la vivienda pudo haber fallado debido a la cubierta no se observa un debido soporte para este elemento.



Figura 07. Vivienda afectada en Huehuetlán. Recuperado de <https://www.periodicocentral.mx/>

CAPÍTULO 2



Condiciones generales de la zona de estudio; Ecatzingo,
Estado de México

Capítulo 2 Condiciones generales de la zona de estudio; Ecatzingo, Estado de México

2.1. Contexto físico

Ecatzingo hace alusión al aire y al viento que significa “lugar consagrado al viento”.

2.1.1 Ubicación

Ecatzingo de Hidalgo se localiza al extremo sur oriente del Estado de México y al sur poniente del volcán Popocatepetl. Los límites del municipio son: al norte con el municipio de Atlautla; al sur con Ocuilco de Guerrero (estado de Morelos); al oriente con el volcán Popocatepetl; al poniente con el municipio de Atlautla, como se observa en la figura 08.

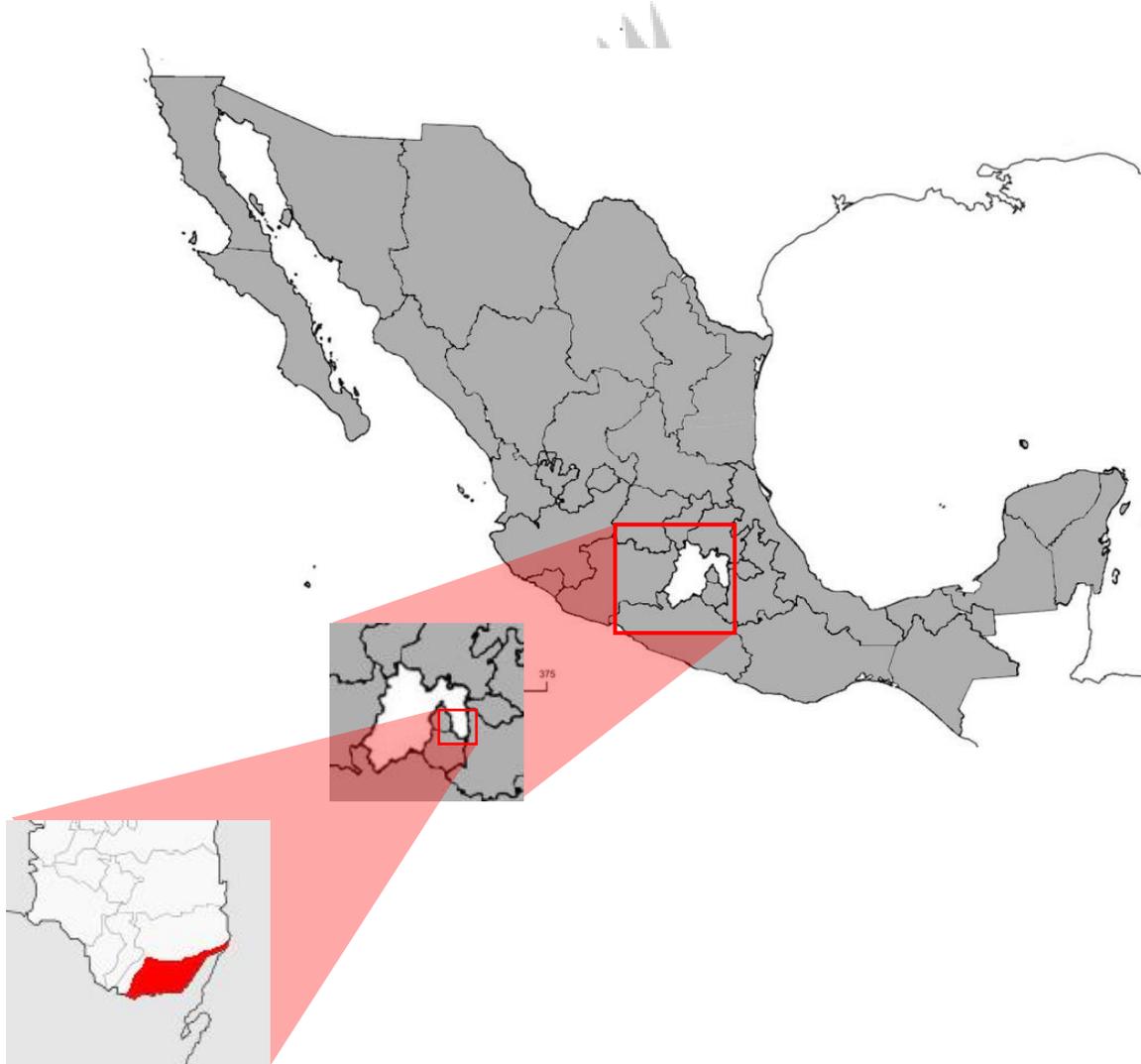


Figura 08. Ubicación del municipio Ecatzingo. Elaboración propia (2019)

2.1.2. Clima y precipitación pluvial

El municipio de Ecatzingo de Hidalgo cuenta con clima templado semi-cálido subhúmedo, con lluvias en verano e invierno (figura 09). Por su parte la temperatura media del año es de 14°C y 15°C. Por el contrario, la precipitación total en el año es de 1,380 milímetros mientras la máxima incidencia de lluvia se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre. Además, la precipitación media se establece con un promedio de 1,200 mm. (INEGI, 2010).

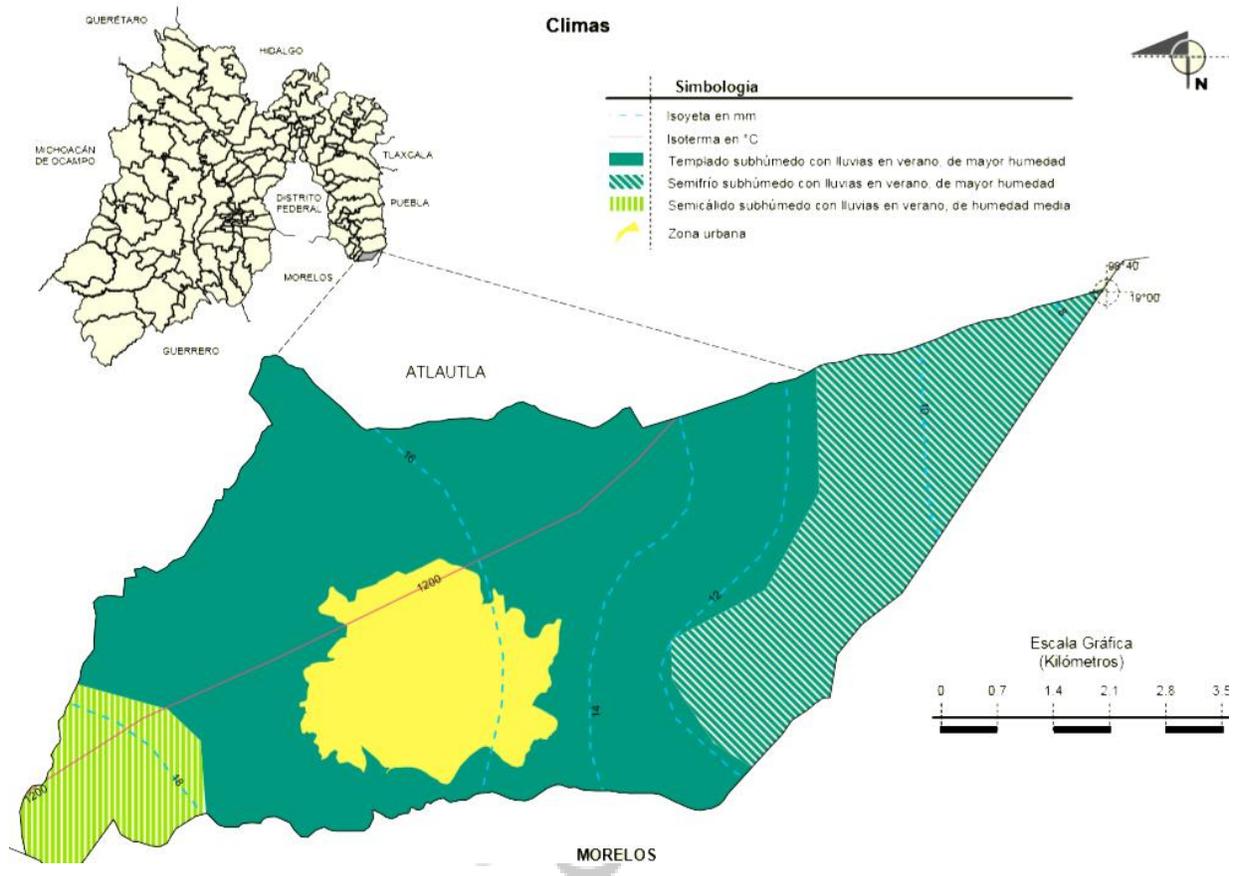


Figura 09. Climas del municipio de Ecatzingo. Fuente: INEGI, 2009

2.1.3. Flora

En el municipio de Ecatzingo de Hidalgo, los árboles que más prevalecen son: pino, ocote, sauce, nogal, oyamel, encino, fresno, trueno, mora, aile, cedro, mananhuaztli y se tiene en proporción muy pobre el ahuehuete. Asimismo, las plantas medicinales que se obtienen son: hierbabuena, cilantro, romero, ruda, cedrón, manzanilla, epazote, té de monte, tomillo, orégano, laurel, perejil, entre otras. Con respecto a las flores se cultivan las siguientes: azucena, alcatraz, bugambilia, rosa, clavel rojo, cola de novia, crisantemo, nube, jazmín, girasol, juanita y lirio blanco.

2.2. Características geotécnicas del lugar

La mayoría del suelo es del tipo andosol (T), el cual se refiere a tierra negra formada a partir de cenizas volcánicas, de textura muy suelta y susceptibles a la erosión. También se puede encontrar en menor parte, suelos del tipo regosol(R) y litosol(I) que presenta características pedregosas y poca profundidad en ellos como en la figura 10. (INEGI, 2009)

Con la excepción de sus áreas más altas los suelos de Ecatzingo son de tipo andosol húmico: Este suelo es producto de cenizas volcánicas y de materia orgánica producida por árboles y arbustos. Es un suelo ácido y pobre en nutrientes. Retiene fósforo en una forma no asimilable por las plantas y por lo tanto, las deficiencias son difíciles de detectar en el análisis del suelo. Su vocación es estrictamente forestal, con gran aptitud para árboles frutales. Por su susceptibilidad a la erosión, prácticas que dejan los suelos expuestos, causan la pérdida de las capas más fértiles del suelo. La siembra de árboles en las tierras de cultivos y la alternancia con cultivos de forraje, son prácticas comunes que protegen los suelos. (INEGI, 2009)

En el oriente del municipio que es la parte alta, se encuentra el suelo de tipo regosol eutrítico, formado por pastizales, musgos y líquenes, con hasta 15% de materia orgánica. Son óptimos para uso forestal intensivo. Cerca del cráter, se encuentra el suelo litosol, suelos insipientes formados sobre rocas volcánicas. (INEGI, 2009)

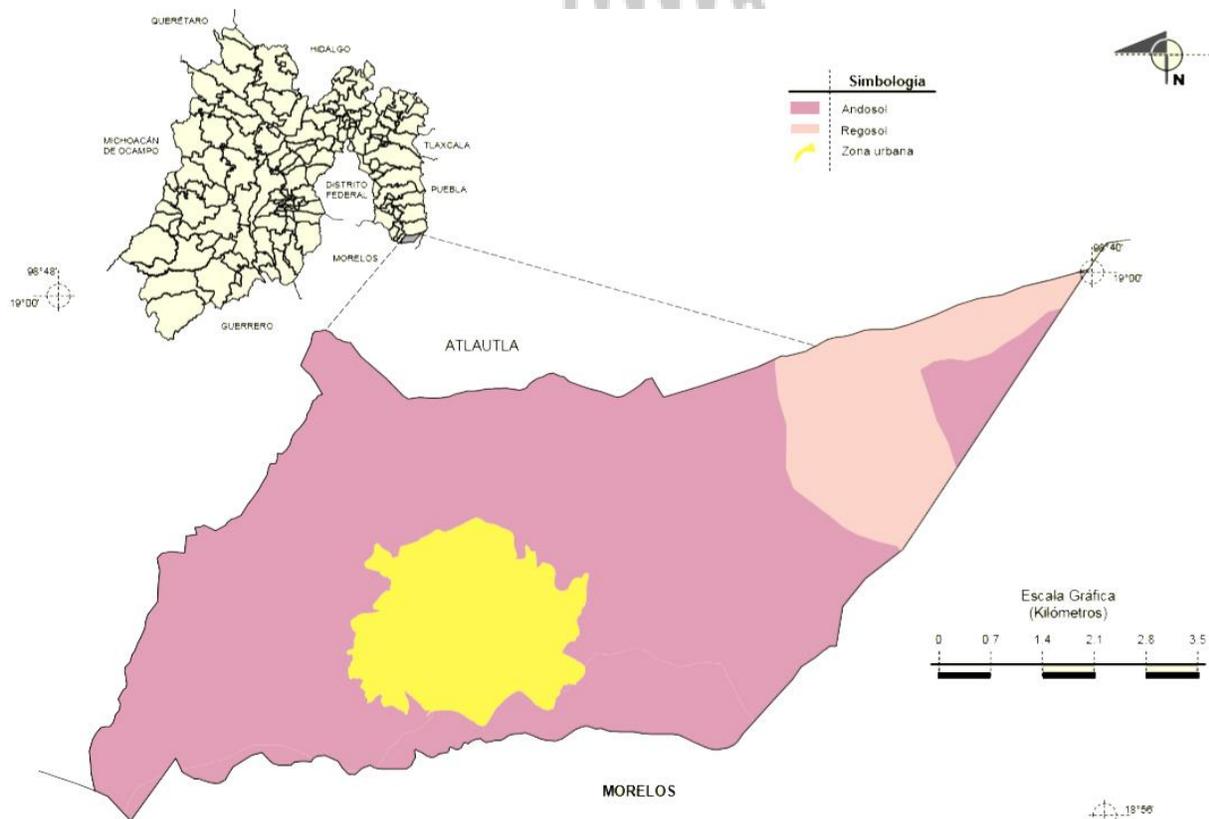


Figura 10. Suelos dominantes del municipio de Ecatzingo. Fuente: INEGI, 2009

2.2.1. Actividades sísmicas en el lugar

El municipio se encuentra dentro de la placa tectónica Norteamericana. Respecto a la presencia de fallas geológicas en este municipio, se han identificado zonas de fracturamiento, debido a las características del material rocoso, el cual es de origen volcánico de carácter andesítico basáltico. Existe un sistema de fallas y fisuras no visibles que se extienden más allá del municipio corriendo a lo largo del mismo en dirección noreste– suroeste. La formación de estas fallas tiene su origen con la formación del sistema de la sierra nevada y en especial con la formación del volcán Popocatepetl. (Atlas de Riesgos, 2020 ,pp13).

El estudio de la actividad sísmica de México comenzó a principios del siglo, sin embargo, los antecedentes históricos de grandes sismos del país fueron registrados en un gran número de documentos. En 1910 se inauguró la red sismológica mexicana y desde esa fecha hasta nuestros días se ha mantenido una observación continua de los temblores cuyos registros se conservan en la Estación Sismológica de Tacubaya y otras instalaciones del Instituto de Geofísica de la UNAM, encargada de operar el Servicio Sismológico Nacional (SSN) y su red de 35 estaciones sismológicas. El SSN reporta en el país, en promedio, la ocurrencia de 4 sismos por día de magnitud $M > 3.0$. (SSN, 2020)

El sismo del 19 de septiembre del 2017 ocurrió a las 13:14:40 horas con epicentro a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos, con una profundidad de 57 km; Latitud 18.4° Longitud - 98.72° . En el periódico The New York Times (Septiembre 2017) el investigador geofísico Gavin Hayes del Servicio Geológico de Estados Unidos, comentó *“La zona de subducción responsable de los dos terremotos recientes va a lo largo de la costa de Centroamérica, desde el centro de México a Panamá”*. En el artículo del Servicio Geológico de México menciona *“México se encuentra en una de las zonas de subducción de la Tierra, donde el fondo oceánico de la placa tectónica de Cocos está forzando su descenso (“subduciendo”) bajo el borde continental de la placa Norteamericana.”*

A partir del sismo de magnitud 7.1 con epicentro cercano al límite entre los estados de Puebla y Morelos, se han presentado sismos pequeños en el estado de Morelos debidos a pequeñas fallas preexistentes que han producido pequeños temblores. Los sismos que se han registrado datan del año de 1907 partiendo el primero en el sureste de San Marcos en Guerrero con una magnitud de 7.6, como se puede ver en la siguiente tabla 01 que va desde el año de 1907 hasta el año 2017.(SSN, 2020).

| Fecha | Hora | Mg | Latitud | Longitud | Referencia de localización |
|------------|----------|-----|---------|----------|---|
| 15/04/1907 | 00:08:06 | 7.6 | 16.7 | -99.2 | 23 km al sureste de San Marcos, Guerrero |
| 26/03/1908 | 17:03:30 | 7.5 | 16.7 | -99.2 | 23 km al sureste de San Marcos, Guerrero |
| 07/06/1911 | 05:02:42 | 7.6 | 17.5 | -102.5 | 59 km al Suroeste de Cd. Lázaro Cárdenas, Michoacán |
| 16/12/1911 | 13:14:18 | 7.5 | 16.9 | -100.7 | 36 km al Sur de Tecpan, Guerrero |
| 21/03/1928 | 22:17:30 | 7.5 | 15.67 | -96.1 | 12 km al Sureste de Crucecita, Oaxaca |
| 16/06/1928 | 21:19:28 | 7.6 | 16.33 | -96.7 | 11 km al Oeste de Miahuatlan, Oaxaca |
| 08/10/1928 | 21:01:08 | 7.5 | 16.3 | -97.3 | 35 km al Noreste de Río Grande, Oaxaca |
| 14/01/1931 | 19:50:40 | 7.8 | 16.34 | -96.87 | 30 km al Oeste de Miahuatlan, Oaxaca |
| 03/06/1932 | 04:36:52 | 8.2 | 19.57 | -104.42 | 4 km al Sureste de Casimiro Castillo, Jalisco |
| 18/06/1932 | 04:12:10 | 7.8 | 19.5 | -103.5 | 14 km al Suroeste de Tuxpan, Jalisco |
| 25/07/1937 | 21:47:13 | 7.3 | 18.45 | -96.08 | 24 km al Norte de Tres Valles, Veracruz |
| 15/04/1941 | 13:09:51 | 7.6 | 18.85 | -102.94 | 25 km al Noreste de Coalcoman, Michoacán |
| 06/08/1942 | 17:36:59 | 7.9 | 14.8 | -91.3 | 93 km al Este de Cd. Hidalgo, Chiapas |
| 22/02/1943 | 03:20:45 | 7.4 | 17.6 | -101.1 | 20 km al Noreste de Petatlan, Guerrero |
| 28/07/1957 | 02:40:10 | 7.8 | 17.11 | -99.1 | 47 km al Noreste de San Marcos, Guerrero |
| 11/05/1962 | 08:11:57 | 7.1 | 17.25 | -99.58 | 34 km al Sur de Chilpancingo, Guerrero |
| 23/08/1965 | 13:46:02 | 7.4 | 16.178 | -95.877 | 53 km al Noreste de Crucecita, Oaxaca |
| 30/01/1973 | 15:01:12 | 7.6 | 18.412 | -103.01 | 43 km al Sureste de Coalcomán, Michoacán |
| 29/11/1978 | 13:52:50 | 7.6 | 16.013 | -96.586 | 32 km al Noroeste de Sn Pedro Pochutla, Oaxaca |
| 14/03/1979 | 05:07:15 | 7.4 | 17.75 | -101.26 | 24 km al Norte de Petatlán, Guerrero |
| 24/10/1980 | 08:53:36 | 7.1 | 18.174 | -98.222 | 19 km al Oeste de Acatlán de Osorio, Puebla |
| 19/09/1985 | 07:17:49 | 8.1 | 18.419 | -102.46 | 45 km al Noroeste de la Mira, Michoacán |
| 20/09/1985 | 19:37:14 | 7.6 | 17.828 | -101.68 | 25 km al Noroeste de Zihuatanejo, Guerrero |
| 14/09/1995 | 08:04:33 | 7.3 | 16.752 | -98.667 | 29 km al Noroeste de Ometepepec, Guerrero |
| 15/06/1999 | 15:42:04 | 7 | 18.133 | -97.539 | 29 km al Suroeste de Sn Gabriel Chilac, Puebla |
| 30/09/1999 | 11:31:13 | 7.4 | 16.056 | -97.004 | 22 km al Noreste de Puerto Escondido, Oaxaca |

| | | | | | |
|------------|----------|-----|--------|----------|---|
| 20/03/2012 | 12:02:48 | 7.5 | 16.264 | -98.457 | 46 km al Sur de Ometepec, Guerrero |
| 18/04/2014 | 09:27:21 | 7.2 | 17.011 | -101.46 | 61 km al Suroeste de Petatlán, Guerrero |
| 07/09/2017 | 23:49:17 | 8.2 | 14.761 | -94.103 | 140 km al Suroeste de Pijijiapan, Chiapas |
| 19/09/2017 | 13:14:39 | 7.1 | 18.329 | -98.6712 | 8 km al Noroeste de Chiautla de Tapia, Puebla |

Tabla 01. Sismos en la República Mexicana que tuvieron presencia en el municipio de Ecatzingo Fuente: Servicio Sismológico Nacional

De acuerdo con el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo.

- La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones¹⁹ del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

• La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. (Manual de CFE, 2015)



Figura 11 Regionalización sísmica de la República mexicana. Fuente: Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad

¹⁹ Es una medida utilizada en terremotos que consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo.

2.2.2. Actividades volcánicas en el lugar

A partir del 21 de diciembre de 1994, se han registrado diversas explosiones en el interior del cráter, con notable caída de cenizas. Particularmente las del 14 de junio y el 24 de septiembre de 1997, el 1º de enero de 1998, se observaron exhalaciones de magnitud impresionante, siendo el del 18 de diciembre del 2000 el de la mayor magnitud; que ocasionaron incendios forestales en las faldas del coloso. A este municipio se le considera de alto riesgo y programado para ser de los primeros a desalojar en caso de una erupción volcánica mayor a la ocurrida en diciembre de 2000. (INEGI, 2009).

Ecatzingo es un municipio en alto riesgo volcánico debido a su cercanía al volcán Popocatepetl que va de entre los 12 y 14 kilómetros en línea recta al cráter volcánico, atendiendo al mapa de riesgos volcánico y a la topografía el municipio es vulnerable ante alud²⁰ de lodos y lahares²¹, a flujos piroclásticos y caída de ceniza. (Atlas de Riesgos, 2020, pp 72).

Un poblador del municipio comenta cuando el volcán está en constante actividad ocasiona movimientos telúricos o microsismos que ocasiona que se cimbré la tierra y se escuchen explosiones. “Muchas viviendas que no tenían daños por el sismo, posteriormente por estruendos del volcán han estado estrellándose incluso algunas que se acababan de construir ya están agrietadas” Julio Vergara, director de Bienestar Social de Ecatzingo. (Excelsior, 2019)

2.3. Edificaciones de la zona de estudio

Los monumentos arquitectónicos más importantes y que sustentan parte de la identidad e imagen urbana actual del municipio son entre otros: la parroquia de San Pedro y San Pablo con una época de construcción entre los siglos XVII y XVIII, fundada en el año 1535; que hacia el año de 1911 fue destruido durante el ataque al pueblo, al cual se utilizó como cuartel. Se encuentra localizada en la calle Amado Nervo s/n. esq. Occidente se albergan algunas esculturas consideradas obras de arte, como las imágenes religiosas de San Pedro y San Pablo, así como pinturas antiguas como la de Carlos V que data del siglo XVI (figura 12).

Otros bienes inmuebles históricos dentro del catálogo del INAH son: Casa situada en Amado Nervo 5; en la cual nació el Coronel Plutarco Pineda de las fuerzas zapatistas, construida aproximadamente en 1870. Casa situada en Amado Nervo 9, que fue construida aproximadamente en 1750 como parte de una hacienda actualmente en ruinas. Casa situada en

²⁰ De acuerdo con la Real Academia Española (2020) se define como masa grande de nieve que se desliza por la ladera de una montaña violenta y estrepitosamente, arrastrando con ella todo lo que encuentra a su paso.

²¹ La Real Academia Española lo define como es un flujo de sedimento y agua que se moviliza desde las laderas de volcanes.

Reforma 9 esq. Libertad, construida aproximadamente en 1800. En la actualidad se encuentra dentro del catálogo de bienes inmuebles históricos del Instituto Nacional de Antropología e Historia, con un régimen de propiedad federal. (Rosales A., 1987, pp 31)²²

En Tecomaxusc^{23o} existe la Capilla de San Marcos situada en Guerrero s/n. esq. Zaragoza, San Marcos Tecomaxusco; construida aproximadamente hacia 1580 y reconstruida en 1780. Data del siglo XIX construida en la época colonial también una enorme pila bautismal de piedra negra, con un peso mayor a 300 Kg. En San Juan Tlacotompa se encuentra la Capilla de la localidad ubicada en Morelos s/n. esq. Norte, construida aproximadamente en 1612. Escuela Secundaria T.V. 198 ubicada en Norte s/n. construida aproximadamente en 1888. (Rosales A, 1987, pp 61)



Figura 12. Parroquia de San Pedro y San Pablo. Recuperado de <https://www.flickr.com>

Las zonas mencionadas son pequeñas, pero en conjunto conforman un atractivo y parte fundamental en la imagen urbana y tradiciones del municipio, donde se realizan otras actividades

²² Anastasio E. Rosales cronista de la región del municipio de Ecatzingo de Hidalgo, Estado de México.

²³ Localidad del municipio de Ecatzingo de Hidalgo, Estado de México.

como la Feria Regional de la Miel. En la imagen 19 se observa la Parroquia representativa del lugar, la cual sufrió daños por el sismo, se desprendieron los muros principales y la cúpula se deterioró debido al movimiento.

2.4. Viviendas en la zona de estudio.



Figura 13. Casa de adobe de Ecatzingo del cuadro municipal. (Agosto, 2019) Fotografía propia

El 19 de Septiembre de 2017 México experimentó uno de los terremotos más fuertes de su historia, con 7.1 grados en escala de Richter dejó más de 369 víctimas y 150.000 viviendas destruidas en cinco estados del país, siendo los más afectados Oaxaca, Morelos, Estado de México y Guerrero. Ecatzingo, ubicado al suroeste del Volcán Popocatepetl en el Estado de México continúa siendo uno de los municipios con más daños a causa del sismo, 1.587 viviendas afectadas 601 de ellas inhabitables dejaron familias completas sin hogar. (Excelsior, 2017)

Casa cerca del centro municipal elaborada de adobe que obtuvo daños por el sismo de septiembre de 2019, donde se observa la combinación del concreto con la tierra, lo cual fue perjudicial y afectó a la estructura de la casa generando una grieta vertical en medio de las viviendas.

Como se puede observar en la figura 14 y 15 la vivienda es elaborada de adobe y se encuentra en un cruce de calles, esta construcción tuvo desprendimiento de los castillos de concreto con los muros de tierra, el reforzamiento que se le dio de concreto hizo que se desprendiera el muro, ya que no es compatible lo artificial del concreto con lo natural de la tierra.



Figura 14. Vivienda de adobe de Ecatzingo, toma frontal de la casa. (agosto, 2019). Fotografía propia.

Asimismo, la falta de mortero de las tejas y la estructura articulada de madera que se apoya sin fijarse sobre los adobes produce fricción durante los movimientos sísmicos. Entonces, se desarrolla un proceso en el que se disipa la energía al transformarse en calor. Cuando las formas originales son modificadas por crecimientos derivados de necesidades funcionales, con desequilibrios entre los muros longitudinales y transversales, las diferencias de masas y empujes pueden provocar su colapso. Al haberse perdido paulatinamente los saberes de la edificación tradicional, la gente autoconstruye con un escaso conocimiento de los materiales industrializados, o recurre a la contratación de albañiles que no entienden la importancia de la compatibilidad de los sistemas constructivos antiguos y modernos.



Figura 15. Vivienda de adobe de Ecatzingo, toma lateral de la casa (agosto, 2019). Fotografía propia



Figura 16. Vivienda de concreto en Ecatzingo, desplantada sobre tierra (agosto, 2019)

Como se puede observar en la figura 16 los materiales modernos como el tabique, los blocks y el concreto mezclado con la tierra, conlleva a obtener daños en las viviendas y por ello empiezan a despreciar los materiales con tierra como el adobe y remplazarlos por los tabiques. Está casa fue desplantada sobre la tierra y se colocó muros de contención de piedra lo cual, ahora la están reforzando con castillos de concreto y elaborando de nuevo la vivienda.

Por consiguiente, es urgente generar propuestas de rescate de los conocimientos de construcciones con tierra que puedan apoyar la conservación y restauración de las



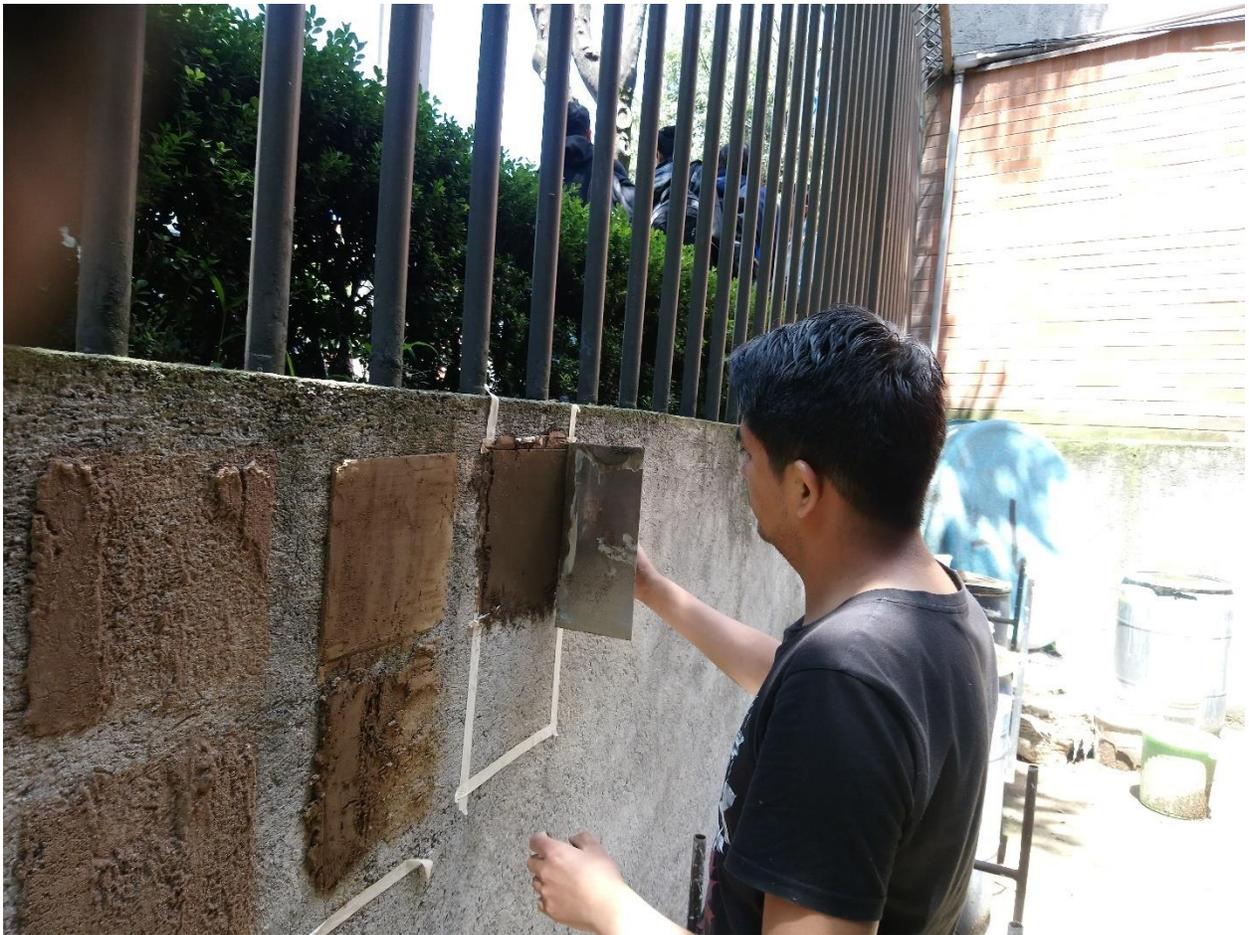
Figura 17. Vivienda de concreto y adobe en Ecatzingo afectada por el sismo. (agosto, 2019)

construcciones vernáculas y el diseño futuro. La construcción tradicional es la materialización de innumerables saberes generados en el pasado, cuya eficiencia ha sido probada tras milenios de experimentación. Por ello, constituye una fuente inagotable de información que debe ser retomada para la generación de espacios habitables que permitan elevar la calidad de vida de la sociedad y, sobre todo, que brinden seguridad a sus habitantes.

En la figura 17 observamos la combinación de concreto con adobe, donde el dueño de la casa al ver los daños de esta vivienda

prefiere construir con muros de tabique y concreto, ya que su casa obtuvo daños en las esquinas del encuentro de las columnas de concreto con los muros de adobe y lo que se dañó fue el adobe. Su cimiento de esta casa es elaborado con piedra porque es un pueblo cantero y se encuentra a faldas del volcán Popocatepetl, da pauta a elaborar cimentaciones de este tipo.

CAPÍTULO 3



Pruebas generales del material de la zona de estudio. Ecatzingo,
Estado de México

Capítulo 3. Pruebas generales del material de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México

La vivienda rural ha sido olvidada, las tradiciones antiguas que se tenían han sido olvidadas a través del tiempo, sin embargo, las construcciones antiguas han resistido a lo largo de los años, pero el detalle es saber su resistencia que se tiene en los elementos que fueron creados para así tener una mejoría en las propuestas. Se elaboraron pruebas de resistencia donde se encontraron las compresiones de los materiales dañados por el sismo, en el municipio de Ecatzingo.

Esta propuesta constructiva se basa en las tradiciones que se tiene en el lugar, así como lo relata un poblador del lugar *“se ha construido con adobes desde el año de 1940 y se ha ido esta tradición por parte de nuestros familiares, hoy en día la gente ya no quiere trabajar en esto”*. (Fortunato,2019²⁴). Entonces se va perdiendo la tradición y al observar que solo prefieren construir con nuevos sistemas constructivos, la tierra no la ocupan.

3.1. Ensayos de campo

Estos ensayos consisten en elaborarse en el sitio con el material que se dispone del municipio de Ecatzingo de Hidalgo, Estado de México. Unas muestras son obtenidas de adobes de las casas que fueron dañadas por el sismo del 19 de septiembre de 2020. Otras muestras son recolectadas de un banco de tierra donde los pobladores lo utilizan para elaborar sus adobes.

3.1.1. Ensayos de la sedimentación

Este ensayo se realiza con la tierra del adobe que se recolectó de la casa dañada por el sismo, para elaborar el ensayo primero se llevó el adobe a la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía donde fue pulverizado el adobe. Se vacía el agua y la tierra en un envase totalmente cristalino donde se dispone a colocar una cinta



Figura 18. Pruebas de sedimentación. Fotografía propia, 2019.

²⁴ Fuente viva: Lic. Fortunato Sánchez Pérez, encargado de Tesorería Municipal de Ecatzingo.

masking desde la base del envase hasta tres cuartas partes con dirección hacia la tapa. Se agita el envase para obtener una mezcla entre el agua y la tierra. Se deja reposar en una superficie plana donde los primeros 15 segundos le corresponde al contenido de arena y a los 15 minutos sería el limo (figura18). Se puede concluir con este ensayo sobre la tierra que contenía el adobe tiene un mayor porcentaje de arenas que de limos.



a)

3.1.2. Ensayo de cohesividad

Para obtener este ensayo la muestra se humedece para formar un rollo de aproximadamente el espesor de un dedo, aproximadamente 2 cm de espesor y 20 cm de ancho. Se alisa con las manos en una superficie plana cuando se tiene el “churro²⁵” se inicia a hacer el desplazamiento hacia la esquina inferior rompiéndose por gravedad en varias partes, como se puede observar en la figura 19. En



b)

este ensayo su corte fue de 3.50 cm aproximadamente en una tira de 20cm, como se observa en la figura 19 se obtuvieron 6 pedazos variando sus mediciones. Sin embargo, estos cortes son menores de 5 cm por lo tanto se considera una tierra arenosa²⁶.

3.1.3. Ensayo de expansión y retracción

Para la elaborar este ensayo se utiliza la tierra del adobe que se recolectó de la vivienda afectada por el sismo en Ecatzingo, Estado de México. Se muele y tamiza el adobe hasta quedar la tierra y se separa las gravas de esta muestra. Primero en un vaso precipitado se mide 750 ml de tierra y posteriormente 150 ml



c)

Figura 19. Ensayos de cohesión. Fotografía propia, 2019.

²⁵ Se refiere a la tira de adobe que se hace para elaborar el ensayo de cohesión.

²⁶ Si la ruptura es menor de 5 cm se considera que es una tierra arenosa y si es mayor de 20cm se considera que es arcillosa. Lo más recomendable es estar entre los 5 y 15 cm.



de agua. Se elabora la mezcla en un recipiente donde primero se coloca los 750 ml de tierra y posteriormente se vacía de 25 ml en 25 ml de agua hasta obtener una mezcla maleable donde esta tierra no esté aguada o semirrígida, como se observa en la figura 20 inciso b.



Figura 20. Preparación de la muestra para el ensayo de expansión y retracción. Fotografía propia, 2019.



Se coloca un margen con cinta masking como guía y se repella de manera uniforme el cuadro de la muestra hasta llenar los recuadros y con una llana se pule, como se observa en la figura 21 inciso a. Se deja reposar durante 48 horas en la intemperie y cuando haya pasado el tiempo se observa el menor agrietamiento en las fisuras y esto se debe porque la tierra del adobe contiene un gran porcentaje de arenas, como se observa en la figura 21 inciso b.



Figura 21. Muestras del ensayo de expansión y retracción. Fotografía propia, 2019.

3.2 Pruebas de Laboratorio

3.2.1. Prueba de resistencia a compresión de los adobes recolectados en Ecatingo, Estado de México

Para la realización de las pruebas, primero se visitó el lugar y se obtuvieron muestras de las viviendas que se deterioraron (a). Posteriormente se trajeron algunos bloques de adobe con que construyeron las viviendas que tuvieron daños, para efectuar las pruebas de compresión y

resistencia del bloque esto en el Laboratorio de Materiales de Arquitectura de la Escuela Nacional de Conservación de Restauración y Museografía (ENCRyM).

Se llevaron los bloques de adobe al laboratorio donde de estos bloques se obtuvieron cubos de 5cm x 5cm x 5cm por medio del lijado con llana dentada (b). Al obtener el primer cubo, se verifica que las caras esten lo más planas posibles porque se colocará en la máquina de compresión para encontrar su resistencia. Una vez que los cubos tienen las medidas requeridas para realizar las pruebas es necesario determinar las áreas de los lados a partir de un registro escrito identificando con nombre cada uno con la finalidad de sistematizar de manera adecuada la información y no se confundan los datos (c).



Figura 22. Procedimiento para la elaboración de los cubos de adobe con material recolectado en el municipio de Ecatzingo (agosto, 2019)

Al obtener las medidas de las caras del cubo, se procede a colocarlo en la máquina para obtener el peso, se va probando uno por uno registrando la información, con el fin de calcular el área y realizar el cociente de esta operación con los datos obtenidos y tener el resultado de la resistencia a la que fueron sometidos, figura 23. Posteriormente se elabora para los otros dos cubos restantes y las dos piezas del bloque de adobe



Figura 23. Prueba de compresión de los cubos de adobe elaborados con material recolectado en el municipio de Ecatzingo Fotografía propia. (agosto, 2019).



Al obtener las áreas y los pesos, se hace una comparativa de los resultados donde se determina que el bloque de adobe resiste menos que 5 kg/cm^2 y hay una variación entre un cubo y el otro a pesar de que fue de la misma muestra. Al hacer la prueba en los bloques largos se obtiene una resistencia mayor pero no rebasa los 5 kg/cm^2 . Este adobe es elaborado con tepetate, ocomozote y ceniza de comal.

| Muestras | Área 1 (cm ²) | Área 2 (cm ²) | Promedio (cm ²) | Peso (kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Incert. | Resistencia + Incertidumbre |
|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| Cubo 1 | 26.88 | 28.16 | 27.52 | 76.00 | 2.76 | 0.05 | 2.76 ± 0.05 |
| Cubo 2 | 35.75 | 36.85 | 36.3 | 117.00 | 3.22 | 0.04 | 3.22 ± 0.04 |
| Cubo 3 | 32.24 | 42.48 | 37.36 | 62.00 | 1.66 | 0.02 | 1.66 ± 0.02 |
| | | | | Promedio | 2.55 | 0.80 | 2.55 ± 0.8 |
| Cubo 4 Largo | 110.84 | 147.92 | 129.38 | 529.00 | 4.09 | 0.02 | 4.09 ± 0.02 |
| Cubo 5 Largo | 148.12 | 121.36 | 134.74 | 476.00 | 3.53 | 0.01 | 3.53 ± 0.01 |
| | | | | Promedio | 3.81 | 0.01 | 3.81 ± 0.01 |

Tabla 02 Datos obtenidos de la prueba de compresión de los cubos de adobe elaborados con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. Tabla elaborada con datos del autor. (agosto, 2019)

3.2.2. Análisis granulométrico con tierra de Ecatzingo, Estado de México

Para esta prueba la tierra fue obtenida de un banco del Municipio de Ecatzingo, Estado de México y se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Estudios Superiores Aragón con ayuda del Ingeniero Miguel Ángel Saavedra y el Ingeniero Ricardo Heras. Primero se cuarteo²⁷ la tierra en un área limpia, se escoge un cuarteo que pese aproximadamente 500 gramos, esta tierra debe de estar libre de materia orgánica. Se elabora un tamizado por las mallas del número 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200; cuando pasa por cada malla se procede a pesar el espécimen que llegué a quedar en una balanza desde la malla 4 hasta 200 donde se tabula la información como en la tabla 03.

²⁷ Se divide la tierra en cuatro partes iguales para poder elaborar las pruebas de laboratorio.

| No. De Malla | Peso (g) | Porciento (%) | % Entero | % Acumulativo |
|--------------|-----------|-----------------|------------|---------------|
| 4 | 0.5±0.5 | 0.09±0.001 | 0 | 0 |
| 8 | 14.7±0.5 | 2.82 ±0.001 | 3 | 3 |
| 16 | 34.9±0.5 | 6.69±0.002 | 7 | 10 |
| 30 | 65.3±0.5 | 12.52 ±0.002 | 12 | 22 |
| 50 | 229.7±0.5 | 44.05 ±0.004 | 44 | 66 |
| 100 | 114.4±0.5 | 21.94 ±0.003 | 22 | 88 |
| 200 | 48.3±0.5 | 9.26 ±0.002 | 9 | 97 |
| CH | 13.6±0.5 | 2.61 ±0.001 | 3 | 100 |
| Σ = | 521.4±4.0 | 99.98 | 100 | |

Tabla 03 Datos obtenidos de la prueba de análisis granulométrico con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. Tabla elaborada con datos del autor. (diciembre, 2019)

Al vaciar los datos en la tabla se percata que el mayor porcentaje se encuentra retenida en la malla 50 y 100 donde le corresponde a las arenas porque entre mayor porcentaje se encuentre retenida en la malla 200 o CH son arcillas en cambio sí se encuentra en la malla 4 y 8 son gravas. En la malla 50 se encuentra un 44% del espécimen y se grafica como en la figura 24 se observa que tiene un porcentaje acumulado hacia las arenas, por lo tanto, se concluye que la tierra del lugar es arenosa.

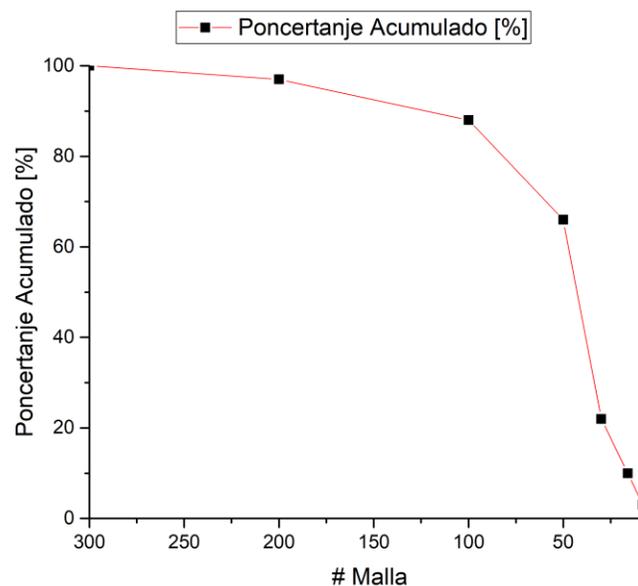


Figura 24. Gráfica del análisis granulométrico de la tierra de Ecatzingo, Estado de México. Gráfica elaborada con datos del autor, 2019.

3.2.3. Límites de consistencia

Esta prueba se hizo con tierra recolectada del municipio de Ecatzingo de Hidalgo del Estado de México y se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Estudios Superiores Aragón con ayuda del Ingeniero Miguel Ángel Saavedra. Después de haber elaborado el cuarteo y el tamizado con las mallas 4 hasta la 200 se comienza a humedecer el espécimen con agua de manera que tenga una consistencia maleable para poder rellenar un cilindro (figura 25 inciso a) posteriormente con un penetrómetro²⁸ se obtiene el número de golpes, esta actividad se realiza dos veces para calcular un promedio, y al finalizar se coloca en una cápsula²⁹ que será transportada hacia la báscula porque se obtiene su peso, esta muestra es con el suelo húmedo (figura 25 inciso b).

Asimismo, se realiza el procedimiento para las otras tres muestras que serán colocadas en las cápsulas 94, 107 y 150 donde se hace la prueba del potenciómetro para obtener el número de golpes y se pesa la muestra en la báscula. Al finalizar, se colocan las cuatro cápsulas en un horno de convección durante 24 horas a una temperatura de 110° (Norma ASTM-D22-16-90) para poder obtener el peso de la tierra seca. Ya transcurriendo este tiempo se retiran las cápsulas del horno y se vuelve a pesar en la báscula para registrar los datos (figura 25 inciso c).

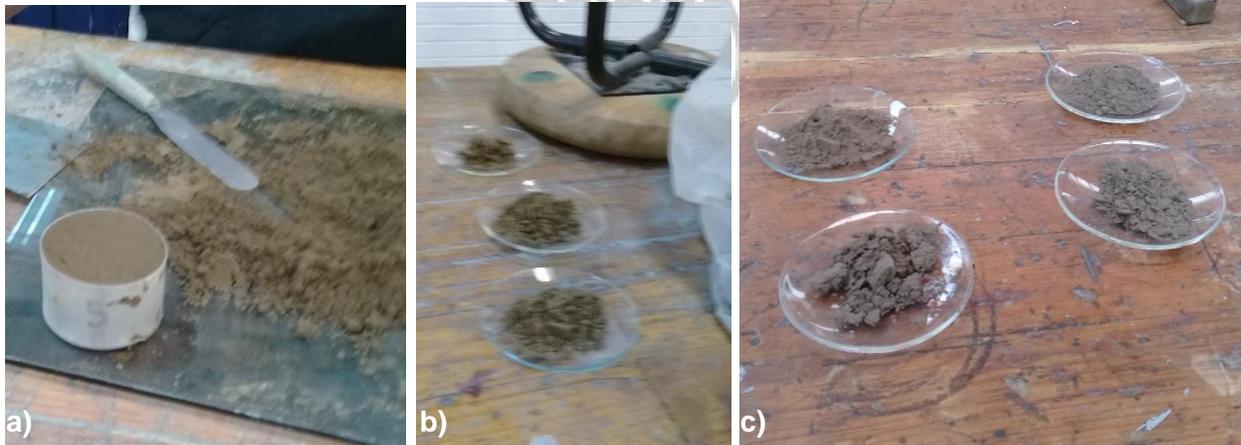


Figura 25. Proceso de la prueba de límites de consistencia de la tierra recolectada de Ecatzingo, Estado de México. Fotografía propia, 2019.

²⁸ Aparato que mide la dureza de los materiales mediante la profundidad de penetración de una aguja. (RAE, 2020).

²⁹ Vasija que se emplea principalmente para evaporar líquidos. (RAE, 2020).

Al realizar el vaciado de información, se concluye en un límite plástico de la tierra se obtiene un promedio de 31 golpes y la tierra contiene un 28 % de agua y una contracción del 12% mientras en un límite líquido se obtiene un promedio de 11 golpes y la tierra contiene un 42% de agua con una contracción al exponerlo en calor de 18.21%, como se puede observar en la tabla 04.

| Cápsula Número | Núm. de golpes | | | Peso cápsula + suelo húmedo | Peso cápsula + suelo seco | Peso del agua | Peso de la cápsula | Peso del suelo seco | Cont. del agua (W) | Hum (Wh) (%) |
|-------------------|----------------|------|------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | 1ero | 2do | Prom | g | g | g | g | g | % | % |
| 4 | 16.7 | 16.3 | 16.5 | 62.0 | 60 | 2.0 | 53.12 | 6.88 | 27.91 | 8.80 |
| 94 | 34.4 | 28.6 | 31.5 | 67.4 | 64.6 | 2.8 | 54.94 | 9.66 | 28.99 | 12.46 |
| 107 | 26.8 | 32.0 | 29.4 | 51.0 | 47.5 | 3.5 | 38.08 | 9.42 | 37.15 | 12.92 |
| 150 | 11.4 | 10.0 | 10.7 | 71.4 | 66.0 | 5.4 | 53.19 | 12.81 | 42.15 | 18.21 |

Tabla 04 Datos obtenidos de la prueba de límites de consistencia con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. Tabla elaborada con datos del autor. (diciembre, 2019)

3.2.4. Contracción lineal

Esta prueba se hizo con tierra recolectada del municipio de Ecatzingo de Hidalgo del Estado de México y se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Estudios Superiores Aragón con ayuda del Ingeniero Miguel Ángel Saavedra.

Después de haber elaborado el cuarteo y el tamizado con las mallas 4 hasta la 200 se comienza a humedecer el espécimen con agua de manera que su consistencia sea maleable para poder llenar el molde de contracción lineal (figura 26). Se procede a pesar el espécimen en la balanza, antes de pesarlo debe de estar compactado y en un estado plástico. Posteriormente se coloca en un horno de convección durante 24 horas a una temperatura de 110° (Norma ASTM-D22-



Figura 26. Molde de contracción lineal con tierra de Ecatzingo, Estado de México. Fotografía propia, 2019.

16-90). Al pasar las 24 horas se observa la retracción que ha obtenido y se vuelve a pesar el espécimen en la misma báscula, en la tabla 05 se concluye que la tierra de esta prueba al calcular la diferencia de los pesos del suelo húmedo y el suelo seco cuenta con una contracción del 13% lo que indica que es un suelo arenoso al mostrar un mínimo porcentaje.

| Molde de contracción | Peso | Molde | W |
|-------------------------------------|--------|-------|---------------|
| | g | g | % |
| Peso de molde + suelo húmedo | 136.00 | 88.10 | 47.90 |
| Peso de molde + suelo seco | 123.00 | 88.10 | 34.90 |
| Contracción lineal | | | 13.00% |

Tabla 05 Datos obtenidos de la prueba de contracción lineal con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. Tabla elaborada con datos del autor. (diciembre, 2019)

CAPÍTULO 4



La tierra y el estabilizador; la arcilla.

Capítulo 4. La tierra y el estabilizador; la arcilla.

4.1. Tepetate con arcilla al 10 %

En el capítulo anterior denominado “Pruebas generales del material de la zona de estudio. Ecatzingo, Estado de México” se elaboran las pruebas correspondientes para obtener el mejoramiento de la vivienda que fue afectada por los sismos del 2017. El tepetate que se utiliza en esta prueba es proveniente del municipio de Ecatzingo.

A continuación, en la figura 27, se observa el tamizado de la tierra de tepetate mediante un colador, al obtener la arena fina en un vaso precipitado se mide 450 ml de tierra y se añade 50 ml de arcilla, esto para obtener el porcentaje del 10% de arcilla y 90% del tepetate.



Figura 27. Tamizado y dosificación de la muestra. Fotografía propia, 2020.

Ensayo de sedimentación



Figura 28. Ensayo de sedimentación 90% Tepetate y 10% Arcilla. Fotografía propia, 2020.

Este ensayo se realiza con la tierra del adobe que se recolectó del municipio estudiado, para elaborar el ensayo primero se tamiza con un colador de cocina. Se vacía el agua y la tierra en un envase totalmente cristalino donde se dispone a colocar una cinta masking desde la base del envase hasta tres cuartas partes con dirección hacia la tapa. Se agita el envase para obtener una mezcla entre el agua y la tierra. Se deja reposar en una superficie plana donde los primeros 15 segundos le corresponde al contenido de arena y a los 15 minutos será el limo como

se observa en la figura 28. Se puede concluir

con este ensayo que la tierra cuenta con un mayor porcentaje de arenas que de arcillas, ya que, solamente se observa un 10% de arcillas.

Ensayo de cohesividad

Para obtener este ensayo la muestra se humedece para formar un rollo de aproximadamente el espesor de un dedo, aproximadamente 2 cm de espesor y 20 cm de ancho. Se alisa con las manos en una superficie plana cuando se tiene el “churro” se inicia a hacer el desplazamiento hacia la esquina inferior rompiéndose por gravedad en varias partes. En este ensayo su corte fue de 5 cm a 7.5 cm aproximadamente en una tira de 20cm, como se puede observar en la figura 29, en la tabla 06 se realizaron cuatro muestras. Sin embargo, estos cortes son mayores de 5 cm por lo tanto se considera una más estable para realizar adobes.



Figura 29. Ensayo de cohesividad 90% Tepetate y 10% Arcilla. Fotografía propia, 2020.

90 % TEPETATE – 10 % ARCILLA

| MUESTRAS | Primer fragmento (cm) | Segundo fragmento (cm) | Tercer Fragmento (cm) |
|----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Primera | 8.00 | 7.50 | 5.50 |
| Segunda | 5.50 | 6.50 | 5.50 |
| Tercera | 6.50 | 7.50 | 5.50 |
| Cuarta | 4.50 | 5.50 | 5.00 |

Tabla 06 Datos obtenidos del ensayo de cohesividad, 90%Tepetate y 10% Arcilla con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. Tabla elaborada con datos del autor. (septiembre, 2020)

Ensayo de retracción volumétrica

Para la elaboración de este ensayo se utiliza la tierra del adobe que se recolectó del municipio de Ecatzingo, Estado de México. Se tamizó la tierra y posteriormente se revuelve con 250 ml de agua hasta que la mezcla sea homogénea. Se utiliza una tabla como patrón, teniendo en cuenta la superficie donde se coloca porque al ser madera se rocía con agua antes de colocar la muestra, ya que, en una superficie de madera absorbe más rápido la humedad. En la figura 30 observamos en el lado izquierdo una muestra sin ocomozote y en la otra se colocan estas fibras.

Posteriormente, se deja secar a la intemperie durante 4 días para observar su retracción. El resultado que se obtiene es una retracción mínima y con las fibras de ocomozote contiene mayor adherencia.



Figura 30. Ensayo de retracción 90% Tepetate y 10% Arcilla. Fotografía propia, 2020.

4.2. Tepetate con arcilla al 30%

A continuación, en la figura 31 se observa la dosificación del porcentaje mencionado, 30 % de arcilla y 70% de tepetate, en un vaso precipitado se mide 350 ml de tierra y se añade 150 ml de arcilla. Finalmente, se revuelve las tierras hasta quedar una



mezcla homogénea. Ensayo de sedimentación

Este ensayo se realiza con la tierra del adobe que se recolectó del municipio estudiado, para elaborar el ensayo primero se tamiza con un colador de cocina. Se vacía el agua y la tierra en un



Figura 31. Ensayo de sedimentación 70% Tepetate y 30% Arcilla; dosificado de la muestra. Fotografía propia, 2020.

envase totalmente cristalino donde se dispone a colocar una cinta masking desde la base del envase hasta tres cuartas partes con dirección hacia la tapa. Se agita el envase para obtener una mezcla entre el agua y la tierra. Se deja reposar en una superficie plana donde los primeros 15 segundos le corresponde al contenido de arena y a los 15 minutos será el limo como se observa en la figura 31. Se puede concluir con este ensayo que la muestra cuenta con un mayor porcentaje de arenas que de arcillas, ya que, solamente marca un 30% de arcillas.

Ensayo de cohesividad

Para obtener este ensayo la muestra se humedece para formar un rollo de aproximadamente el espesor de un dedo, aproximadamente 2 cm de espesor y 20 cm de ancho. Se alisa con las manos en una superficie plana cuando se tiene el “churro” se inicia a hacer el desplazamiento hacia la esquina inferior rompiéndose por gravedad en varias partes. En este ensayo su corte fue de 5.5 cm a 8 cm aproximadamente en una tira de 20cm, como se puede observar en la figura 32, en la tabla 07 se realizaron cuatro muestras. Sin embargo, estos cortes rondan hasta los 8 cm por lo tanto se considera esta tierra menos útil para elaborar adobes.



Figura 32. Ensayo de cohesividad 70% Tepetate y 30% Arcilla. Fotografía propia, 2020.

70 % TEPETATE – 30 % ARCILLA

| MUESTRAS | Primer fragmento (cm) | Segundo fragmento (cm) | Tercer Fragmento (cm) |
|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Primera | 7.50 | 5.50 | 5.50 |
| Segunda | 7.00 | 6.50 | 3.50 |
| Tercera | 7.50 | 7.00 | 4.50 |
| Cuarta | 8.00 | 8.00 | 4.00 |

Tabla 07 Datos obtenidos del ensayo de cohesividad, 70%Tepetate y 30% Arcilla con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. Tabla elaborada con datos del autor. (septiembre, 2020)

Ensayo de retracción volumétrica



Figura 33. Ensayo de retracción
 70% Tepetate y 30% Arcilla.
 Fotografía propia, 2020.

Para la elaboración de este ensayo se utiliza la tierra del adobe que se recolectó del municipio de Ecatzingo, Estado de México. Se tamizó la tierra y posteriormente se revuelve con 280 ml de agua hasta que la mezcla sea homogénea. Se utiliza una tabla como patrón, teniendo en cuenta la superficie donde se coloca porque al ser madera se rocía con agua antes de colocar la muestra, ya que, en una superficie de madera absorbe más rápido la humedad. En la figura 33 observamos en el lado izquierdo una muestra sin ocomozote y en la otra se colocan estas fibras, se observa el color que va adaptando el espécimen.

Posteriormente, se deja secar a la intemperie durante 4 días para observar su retracción. El resultado que se obtiene es una retracción media, ya que, se cuartean las muestras y se van desmoronando.

4.3. Tepetate con arcilla al 50%

Antes de explicar los ensayos correspondientes, cabe aclarar a causa del Confinamiento que se vivió por la Pandemia del Covid-19 los ensayos fueron realizados en mi hogar con material y herramienta que se tenía, ya que, no se permitía el acceso a los laboratorios porque estaban cerrados esto debido a las medidas para evitar la propagación del virus.



Figura 34. Dosificación de la muestra 50% de
 tepetate - 50% arcilla. Fotografía propia, 2020.

Para empezar, en un vaso precipitado se mide 250 ml de tierra y se añade 250 ml de arcilla, esto para obtener el porcentaje del 50% de arcilla y 50% del tepetate. Como se puede observar en la figura 34.

Ensayo de sedimentación



Este ensayo se realiza con la tierra del adobe que se recolectó del municipio estudiado, para elaborar el ensayo primero se tamiza con un colador de cocina. Se vacía el agua y la tierra en un envase totalmente cristalino donde se dispone a colocar una cinta masking desde la base del envase hasta tres cuartas partes con dirección hacia la tapa. Se agita el envase para obtener una mezcla entre el agua y la tierra. Se deja reposar en una superficie plana donde los primeros 15 segundos le corresponde al contenido de arena y a los 15 minutos será el limo como se observa en la figura 35. Se puede concluir con este ensayo, la tierra cuenta con un porcentaje medio de arcillas y arenas, ya que, marca un 50% de arcillas.

Figura 35. Ensayo de sedimentación 50% Tepetate y 50% Arcilla. Fotografía propia, 2020.

Ensayo de cohesividad

Para obtener este ensayo, la muestra se humedece para formar un rollo de aproximadamente el espesor de un dedo, aproximadamente 2 cm de espesor y 20 cm de ancho. Se alisa con las manos en una superficie plana cuando se tiene el “churro” se inicia a hacer el desplazamiento hacia la esquina inferior rompiéndose por gravedad en varias partes. En este ensayo su corte fue de 6.50 cm a 10.50 cm aproximadamente en una tira de 20cm, como se puede observar en la figura 36, en la tabla 08 se realizaron cuatro muestras. Sin embargo, estos cortes rondan hasta los 8 cm por lo tanto se considera esta tierra menos útil para elaborar adobes



Figura 36. Ensayo de cohesividad 50% Tepetate y 50% Arcilla. Fotografía propia, 2020.

50 % TEPETATE – 50 % ARCILLA

| MUESTRAS | Primer fragmento (cm) | Segundo fragmento (cm) | Tercer Fragmento (cm) |
|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Primera | 10.50 | 10.50 | - |
| Segunda | 7.00 | 6.50 | 5.50 |
| Tercera | 7.50 | 7.50 | 5.50 |
| Cuarta | 5.50 | 6.50 | 7.50 |

Tabla 08 Datos obtenidos del ensayo de cohesividad, 50%Tepetate y 50% Arcilla con material recolectado en el municipio de Ecatingo. Tabla elaborada con datos del autor. (septiembre, 2020)

Ensayo de retracción volumétrica



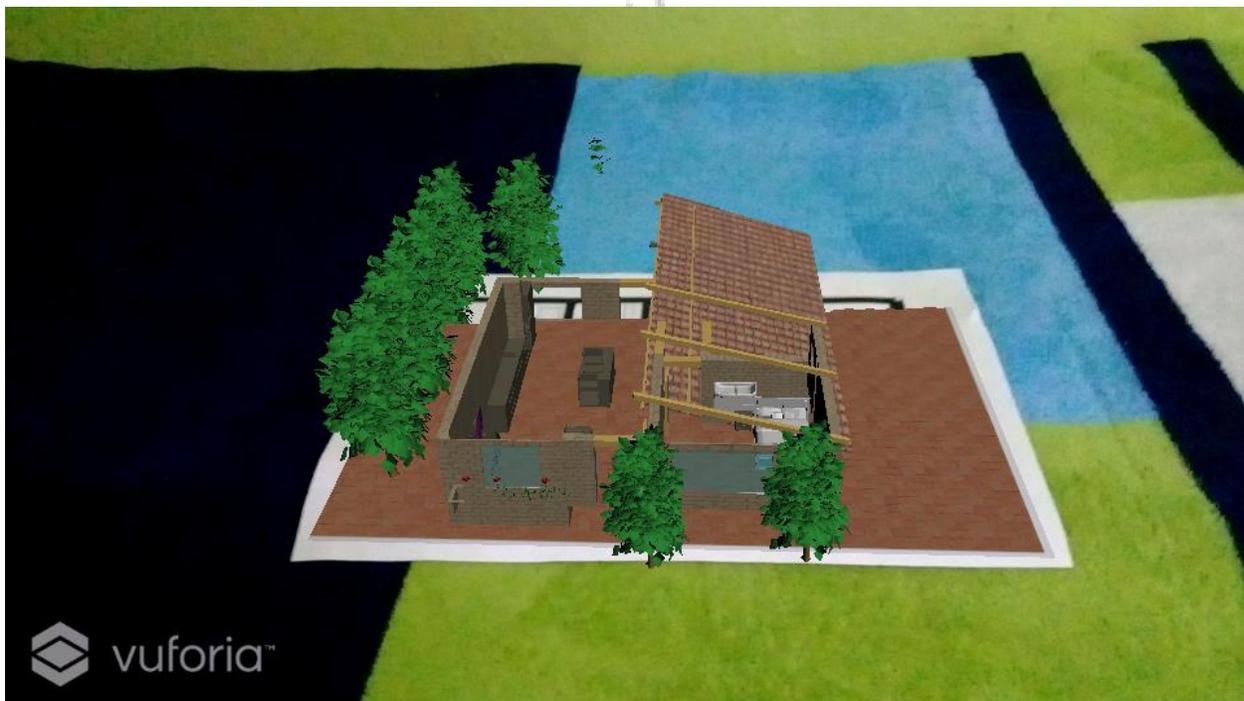
Para la elaboración de este ensayo se utiliza la tierra del adobe que se recolectó del municipio de Ecatingo, Estado de México. Se tamizó la tierra y posteriormente se revuelve con 300 ml de agua hasta que la mezcla sea homogénea. Se utiliza una tabla como patrón, teniendo en cuenta la superficie donde se coloca porque al ser madera se rocía con agua antes de colocar la muestra, ya que, en una superficie de madera absorbe más rápido la humedad. En la figura 37 observamos en el lado izquierdo una muestra sin ocomozote y en la otra se colocan estas fibras, se observa el color que va adaptando el espécimen.

Posteriormente, se deja secar a la intemperie durante 4 días para observar su retracción. El resultado que se obtiene es una retracción alta, ya que, se cuartean las muestras y se van desmoronando, esto por obtener un gran porcentaje de arcillas.

Figura 37. Ensayo de retracción
 50% Tepetate y 50% Arcilla.

Fotografía propia, 2020.

CAPÍTULO 5



Aplicaciones a la Arquitectura de Tierra.

Capítulo 5 Aplicaciones a la Arquitectura de Tierra

5.1 Propuesta arquitectónica de la vivienda rural con el sistema constructivo de adobe

5.1.1 Generalidades

Ubicado en Calle Independencia No. 15, Colonia San Juan Tepancaltitla, Municipio Ecatzingo de Hidalgo, Estado de México., tiene un área de 44.69 metros cuadrados donde será la casa habitación de una vivienda rural. La planta de esta sección del terreno es de forma regular, similar a un rectángulo; con las siguientes medidas y colindancias: Al sureste 7.15 m, al suroeste 6.25 m, al Noroeste 7.15 m y al Noreste 6.25 m. La topografía de este lote es regular y sensiblemente plano.

La vivienda cuenta con un nivel, está constituida con una sala, comedor, recámara, sanitario, cocina y horno. En el municipio se tiene la tradición de cocinar pan al horno donde se acostumbra a contenerlo fuera debido al calor que emana. El proyecto de la vivienda cuenta con una altura de entepiso de 2.60 metros.

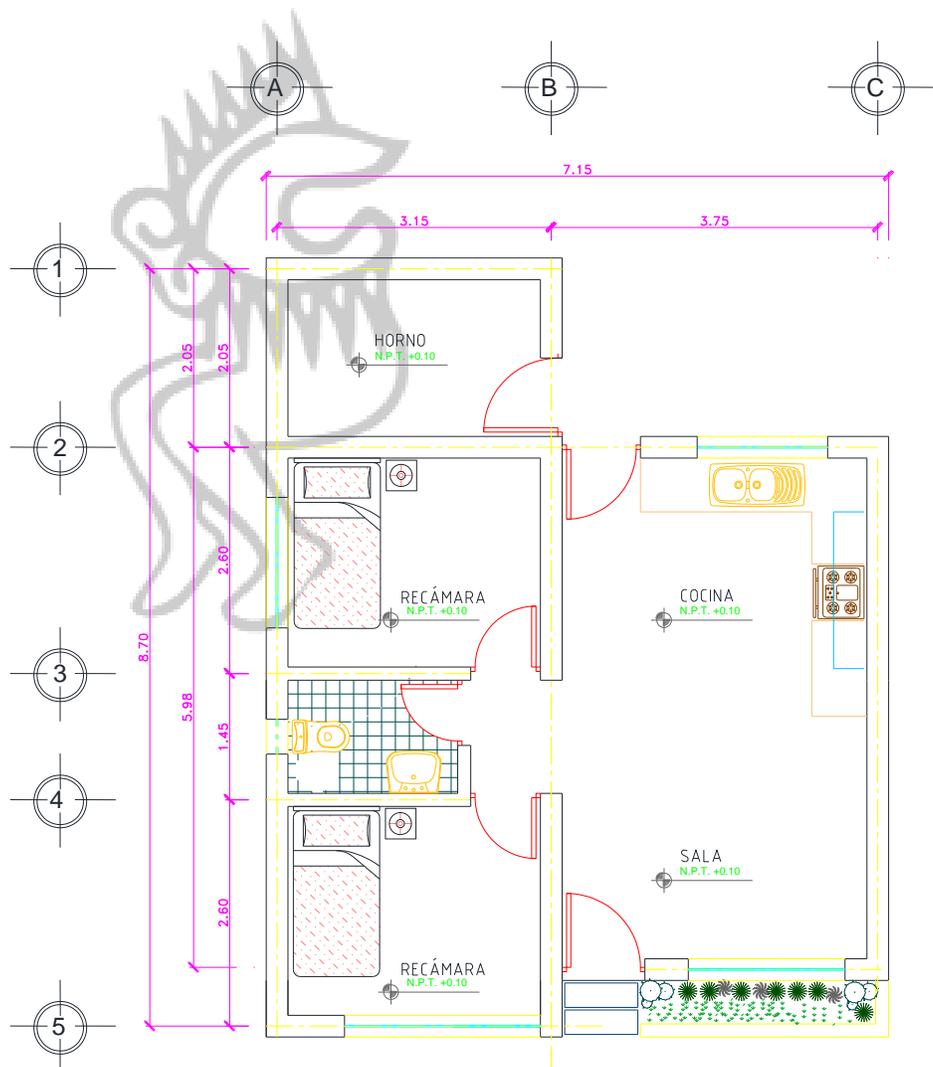


Figura 38. Planta de la vivienda rural. Elaboración propia (Septiembre, 2020)

5.1.2 Sistema constructivo

Cimientos

Un punto importante es la cimentación, ya que, su trabajo es de transmitir la carga de la construcción al terreno. El peso de la estructura debe estar adaptado a la capacidad portante del terreno que debe a su vez ser un suelo estable. La decisión de escoger un tipo de material para las cimentaciones estará en función de la disponibilidad del material, los costos y rapidez en la puesta en obra. El ancho mínimo de una cimentación será de 40cm. Sin embargo, se recomienda que sea una relación 1.5 veces el ancho del muro, como se observa en la figura 39. (Carazas, 2002, pp 23).

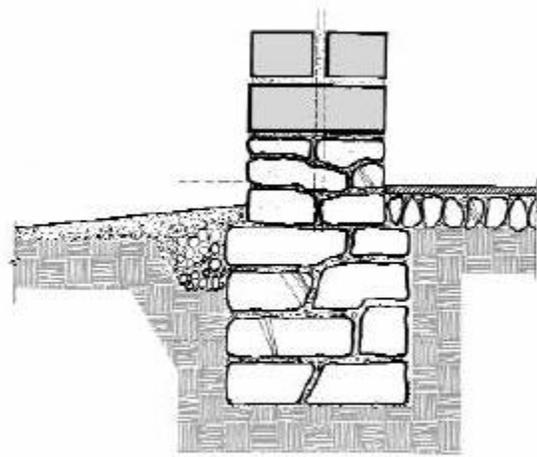


Figura 39. Cimiento de mampostería de piedra.
 Carazas W, 2002.

Sobrecimientos

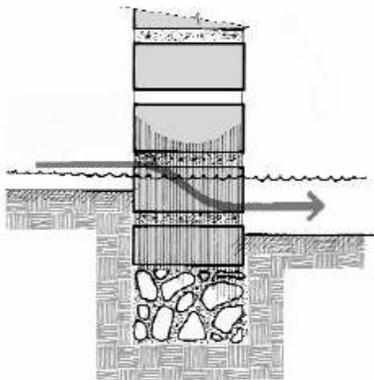


Figura 40. Vivienda con inundación. Carazas W, 2002.

Es necesario tener una buena cimentación y que los sobrecimientos depasen unos 20cm por encima del nivel al exterior para evitar cuando llueva la humedad y si el nivel de piso interior prevee que haya inundaciones. (Carazas, 2002, pp 23).

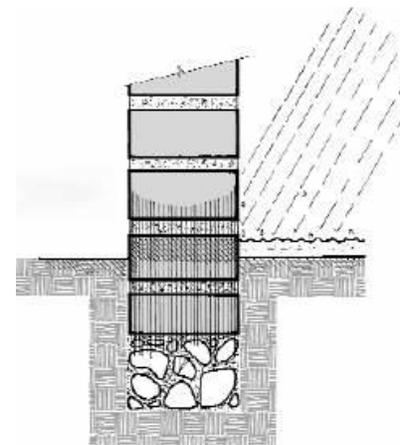


Figura 41. Vivienda con absorción de humedad. Carazas W, 2002.

Muros

El mezclado se realiza en dos etapas: primero se mezclan la tierra y el agua, segundo la tierra con agua se mezcla con la paja hasta lograr una pasta homogénea y plástica. Posteriormente, para un buen secado de los adobes se requiere de un espacio en buenas condiciones: plano, aislado y delimitado. Después, el moldeo se realiza después que la mezcla tierra/agua haya reposado mínimo una noche. Al día siguiente es necesario mezclar nuevamente, esta vez adicionando el ocomozote. No se debe de producir durante las horas de mayor asoleamiento, entre 11h. y 15 h. se recomienda proteger inmediatamente la superficie con una capa de arena o de ceniza. (Carazas, 2002, pp 14-21).

Al finalizar el secado, se procede a posicionar los adobes de la primera hilada, donde se debe tomar en cuenta para un buen traslape que es necesario utilizar los medios bloques. Se ubican las aberturas de puertas y ventanas, así como, los contrafuertes. A cada 3 hiladas se colocan dos ramas de árbol de pino con una medida de un 1 metro parte desde el cruce de ambos adobes hacia la contraparte. (Carazas, 2002, pp 25-28).

Vigas de cerramiento

Esta viga llamada collar hace la función de un Anillo o cinturón que rodea a la edificación en la parte superior con el fin de transmitir correctamente los esfuerzos frente al sismo. También funciona brindando continuidad entre los muros transversales, aumentando la resistencia a la flexión y dando continuidad entre techo y muro, como se puede observar en la figura 41. Esta viga es de madera de pino con una medida de 10x 10 cm.

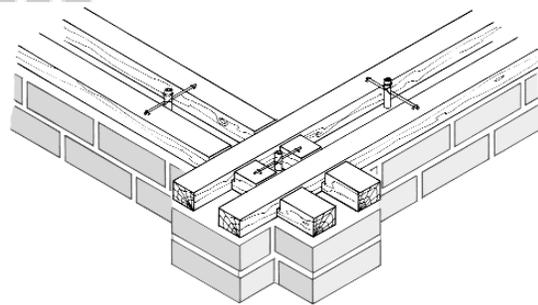


Figura 41. Viga collar. Carazas W, 2002.

Estructura para techo

La estructura y cobertura del techo se comportan como un diafragma, es decir, es rígida y flexible, que resiste a la flexión y el cizallamiento. También, una vivienda en zona sísmica requiere de un techo ligero y que reparta su carga de manera homogénea sobre los muros. Además, es necesario que se consideren los aleros como parte de la protección del muro, estos no deben ser menores de 50cm ni mayores de 1m.

Una parte importante es el anclaje, así como la fijación de la estructura del techo con alambre u otro elemento, como se muestra en la figura 42. Se coloca un traslape de 3.5 a 4 cm entre las tejas de arcilla. (Carazas, 2002, pp 29).

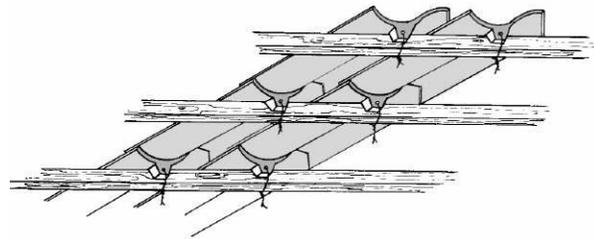


Figura 42. Estructura del techo. Carazas W, 2002.

5.2 Espectros de Diseño para la zona de estudio

Los espectros de diseño propuestos para el análisis dinámico estructural se construyen a partir de la familia de espectros de respuesta calculados para un sitio, deben ser representativos de la respuesta de estructuras sometidas al ambiente sísmico que afecta a la región y tomando en cuenta el efecto de amplificación local.

En este proceso se incluye el efecto de sobre resistencia en función del tipo de estructura proyectada. A solicitud, los espectros de diseño se construyen para valores de amortiguamiento estructural distintos al 5%, bajo comportamiento no lineal estructural, con sobre resistencia y considerando explícitamente el efecto de la interacción dinámica suelo-cimentación-estructura. (sísmica.com.mx, 2020).

5.2.1 Obtención del Espectro de Diseño Transparente Regional

En esta parte se efectuará el cálculo de la carga accidental del sismo con ayuda del programa PRODISIS, el cual, este programa fue desarrollado como una herramienta de apoyo para la aplicación de las nuevas recomendaciones de diseño sísmico contenidas en el Capítulo de Diseño por Sismo del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE (CDS-MDOC 2015). Originalmente, fue diseñado para obtener el valor de la aceleración a nivel del terreno rocoso, considerando que este varia a lo largo de todo el país, así como para la construcción de espectros de diseño. Sin embargo, se incluyen módulos para facilitar la aplicación de algunos criterios contenidos en el Manual de Diseño de Obras Civiles, capítulo Diseño por Sismo 2015.

Las coordenadas geográficas del lugar a estudiar son 18.9613, -98.7472 que se encuentra en el Municipio de Ecatzingo de Hidalgo, Estado de México, como se puede observar en la imagen del lado izquierdo se muestra la ubicación del municipio con sus municipios aledaños y del lado derecho el espectro de respuesta.

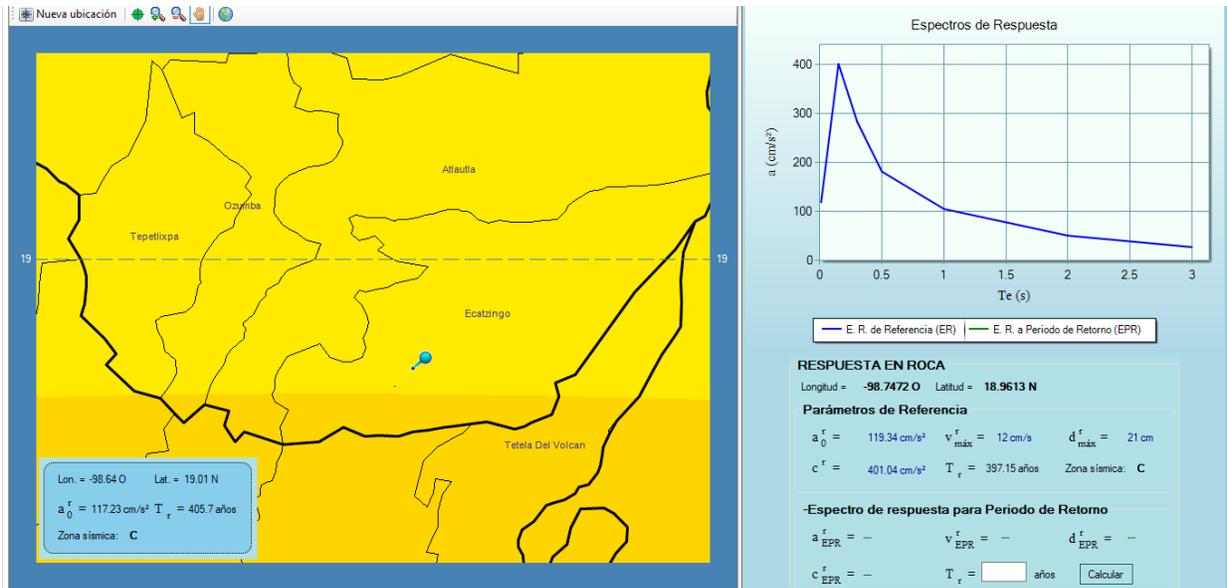


Figura 43. Espectro de Respuesta. Elaboración propia (Noviembre, 2019)

Posteriormente se procede a colocar la altura del suelo, esta se tomó de acuerdo con en el estudio de Mecánica de Suelos realizado por el Laboratorio Integra con fecha de mayo de 2019 y firmado por el Ingeniero Civil Gustavo Blancas Torres con Número de Cédula Profesional 1593953, como se puede observar en la imagen donde se toma un estrato de hasta 10.20 metros el cual se hizo un sondeo de penetración estándar que se divide en tres partes. (Blancas, G. 2019, pp 20).

De 0.00 a 0.90 metros se encuentra limo arenoso café con algunos boleos y gravillas, su contenido de agua es de 11.11% de acuerdo con el análisis granulométrico se compone de Grava= 7.14%, Arena = 38.49 % y Finos = 54.37 %. La resistencia a la penetración estándar en campo es de 14 golpes. (Blancas, G. 2019 pp.20)).

De 0.60 a 2.40 metros se encuentra limo arenoso café claro, su contenido de agua varía de 13.78 % a 28.74 %, de acuerdo con el análisis granulométrico se compone de Grava = 0.00%, arena = 26.44% y finos = 73.56 %. La resistencia a la penetración estándar en campo es de 25 a 38 golpes. (Blancas, G. 2019, pp 20).

De 2.40 a 10.20 metros se encuentra limo arenoso café, su contenido varía de 11.97 a 34.11%, de acuerdo con el análisis granulométrico se compone de grava=0.00%, arena 34.11% y finos =65.89 %. La resistencia a la penetración estándar en campo es de 29 a más de 50 golpes. (Blancas, G. 2019, pp 21)

Estos cortes estratigráficos se pueden observar en la siguiente imagen, donde está dividido en 3 secciones hasta llegar a la altura de 10.20 metros. De acuerdo con este perfil clasifica al suelo en ML.

Al obtener la altura, se dispone con la velocidad de ondas de corte esto va acuerdo con el tipo de suelo registrado en el Estudio de Mecánica de Suelos y verificando posteriormente con el Manual de CFE – 2018 Sismo en el punto 3.1.4.2 Determinación de las propiedades dinámicas del suelo en la Tabla 1.1. donde se observa cuando es un suelo firme y denso como es el caso de este tipo de suelo del municipio de Ecatzingo. Se tiene registrado un número de golpes mayores a 50, por lo tanto, su velocidad es de 360 metros sobre segundo, estos datos son los primeros para obtener el Espectro de Diseño Transparente Regional en el programa de PRODISIS. (Manual de CFE, 2018, pp 11)

Al obtener la velocidad de ondas que tiene un valor de 360 m/s y la altura que es de 10.20 metros se designa la importancia estructural y de acuerdo con el punto 3.2.2 Clasificación de construcciones según su destino del Manual de CFE – Sismo (2018) le corresponde el Grupo B (Manual de CFE, 2018, pp 28) : *“es una estructura que se requiere un grado de seguridad convencional, ya que está construcción cuya falla estructural ocasionaría pérdidas moderadas”*. Como se puede observar en la figura 22 en el lado izquierdo. Donde se obtiene un periodo de 0.11 segundos y una aceleración de 279.48 cm /s².

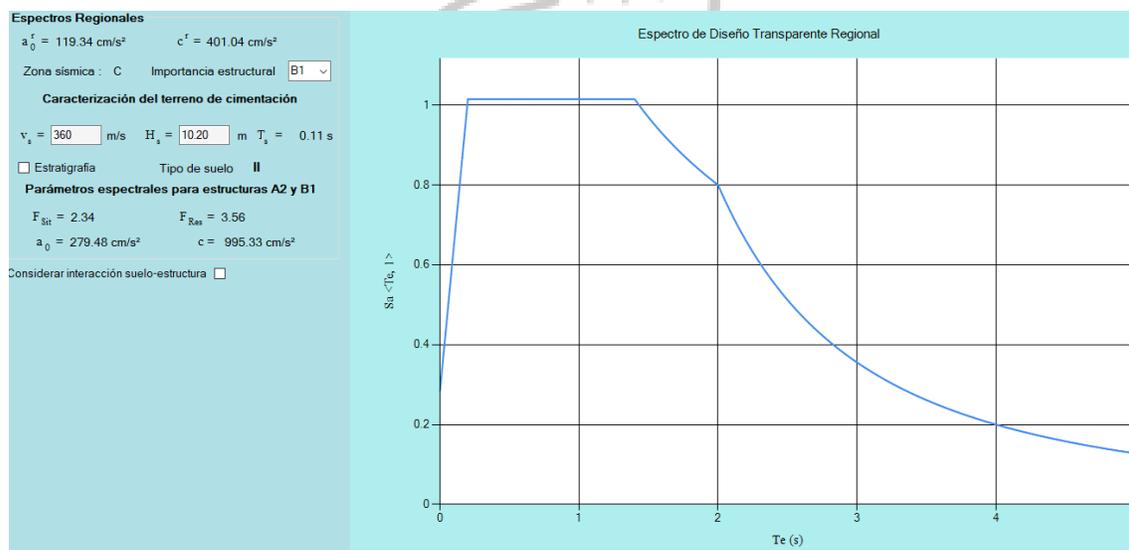


Figura 44. Espectro de Diseño Transparente Regional. Elaboración propia (Noviembre, 2019)

5.2.2 Obtención del Espectro de Diseño Modificado

Al tener el Espectro de Diseño Transparente Regional se procede obtener los valores del factor de comportamiento, reducción por sobre resistencia, factor de redundancia y su corrección por irregularidad, los cuales se basa en el Manual de CFE Sismo 2008 en los siguientes puntos:

1. De acuerdo con el punto 3.3.1.1 del Manual de CFE Sismo, el Factor de comportamiento sísmico el que le corresponde es $Q=1$ porque “*En estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales es suministrada, al menos parcialmente, por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados*”. (CFE, 2008, pp. 40).
2. Su reducción por sobre resistencia con base en el punto 3.3.1.3 del Manual de CFE Sismo, es de $R=2$ por que es “*por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior*”. (CFE, 2008; pp. 41). En la edificación se contempla muros de adobe con refuerzo interior.
3. Su factor por redundancia de acuerdo con el punto 3.3.1.4 del Manual de CFE Sismo le corresponde el 1.0 porque “*en estructuras con al menos dos marcos o líneas de defensa paralelas en la dirección de análisis y que cada marco o línea de defensa disponga de al menos dos crujías o estructuraciones equivalentes*”. (Manual de CFE, 2008, pp 40). En la vivienda se contempla dos marcos en el eje x y a su vez en el eje y, que estos se dividen en 4 tableros.
4. Su corrección por irregularidad que le corresponde es 0.9 de acuerdo con la Tabla 3.1 del punto 3.3.2.4 del Manual de CFE Sismo porque se cumple las condiciones de regularidad del 1 al 9 como lo menciona en la siguiente tabla. (Manual de CFE, 2018, pp 44).

| FACTOR CORRECTIVO α | TIPO DE IRREGULARIDAD |
|----------------------------|---|
| 0.9 | Cuando no se cumpla una condición de regularidad enumeradas del 1 al 9 en la sección 3.3.2.1 |
| 0.8 | Cuando no se cumplan dos o más condiciones de regularidad, o no se cumpla con la condición 10 o 11 de regularidad de la sección 3.3.2.1 |
| 0.7 | Estructuras fuertemente irregulares |

Tabla 09 Factor correctivo por irregularidad. Fuente: Manual de CFE 2008

Antes de insertar los datos en el programa PRODISIS primero se tiene que definir el Tipo de Estructura este se encuentra en el lado superior izquierdo y se selecciona Edificios, se presenta una información del inferior izquierdo donde se procede a fijar los parámetros siguientes:

Q= 1

R= 2

p= 1

α =0.9

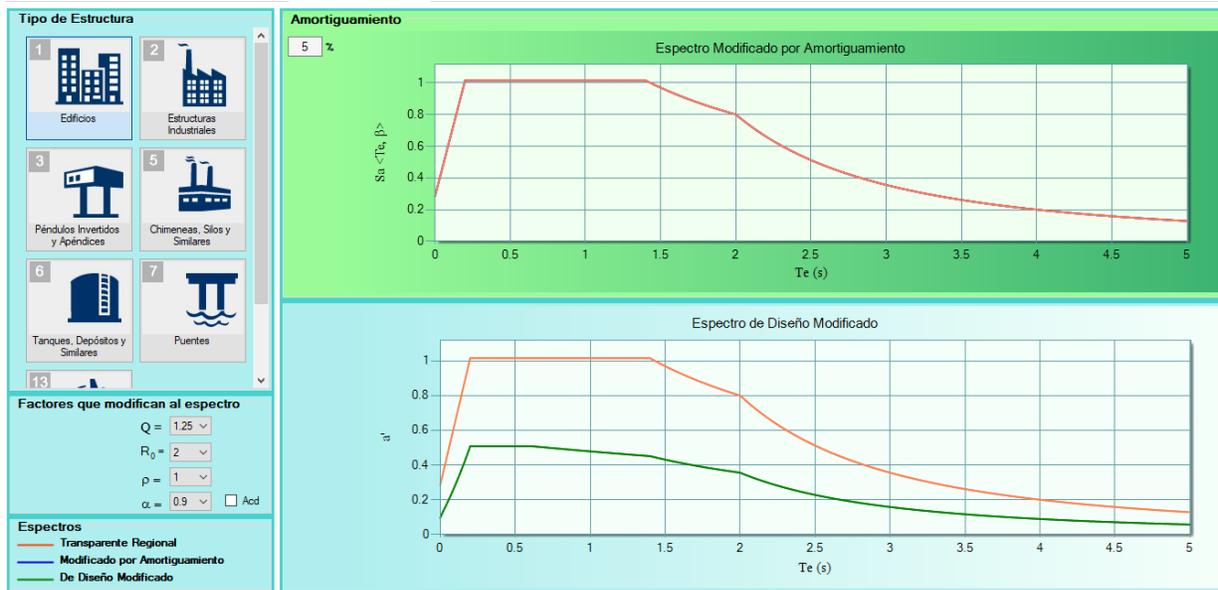


Figura 45. Espectro de Diseño Modificado. Elaboración propia (Noviembre, 2019)

Al insertar los valores mencionados en el párrafo anterior, se obtiene un Espectro Modificado por Amortiguamiento y en la parte inferior el Espectro de Diseño Modificado. En la parte inferior se puede observar dos espectros, el de color rojo es el Transparente Regional y el segundo es el de Diseño Modificado.

5.3 La realidad aumentada en la propuesta arquitectónica

La realidad aumentada podría definirse como aquella información adicional que se obtiene de la observación de un entorno, captada a través de la cámara de un dispositivo que previamente tiene instalado un software específico. La información adicional identificada como realidad aumentada puede traducirse en diferentes formatos. Puede ser una imagen, un carrusel de imágenes, un archivo de audio, un vídeo o un enlace. (Blázquez, 2017; pp 02).

Para acceder al uso de esta tecnología es necesario disponer de diferentes elementos:

- Dispositivo con cámara: PC con webcam, ordenador portátil con webcam, Tablet, Smartphone, Wearable con cámara (relojes, gafas, etc.)
- Un software encargado de hacer las transformaciones necesarias para facilitar la información adicional.
- Un disparador, conocido también como “trigger” o activador de la información: Imagen, entorno físico (paisaje, espacio urbano, medio observado), marcador, objeto o código QR

Los tipos de realidad aumentada que se clasifican en geolocalizada y basada en marcadores se describen cada uno a continuación:

Geolocalizada: Debe su nombre a que es determinada por activadores, “triggers” o “desencadenantes” de la información que son los sensores que indican el posicionamiento del dispositivo móvil. (Blázquez, 2017; pp 03):

- GPS: Indica la ubicación del dispositivo a través de las coordenadas.
- Brújula: Hace referencia a la orientación del dispositivo en la dirección que enfoca la cámara integrada.
- Acelerómetro: Identifica la orientación y ángulo del dispositivo al uso.

Basada en marcadores: Representan el tipo de activador de la información por excelencia en el mundo de la realidad aumentada y podrían englobarse en tres grupos. (Blázquez, 2017; pp 03- 04):

- Códigos QR: son un tipo de formas geométricas en blanco y negro que incluyen información del tipo URL, VCard, texto, email, SMS, redes sociales, PDF, MP3 APP stores, imágenes, teléfonos, eventos, wifi y geolocalización. Dentro del propio diseño, algunas aplicaciones que facilitan su creación permiten la inclusión de una imagen o logo en el mismo Su apariencia es la siguiente:
- Markerless NFT: Los activadores de la información son imágenes u objetos reales.
- Marcadores: Suelen adoptar formas geométricas en blanco y negro y se enmarcan en un cuadrado (en algunas ocasiones también incluyen siglas o imágenes simples).

Con estos antecedentes de la realidad aumentada, se aborda el proyecto arquitectónico donde el modelado se realizó con ayuda del programa Maya³⁰ y los mapeos UV fueron editados con el programa de Photoshop, con objeto de obtener las texturas de la vivienda y dando mayor realismo al momento de programarse. Este trabajo fue realizado con la ayuda del Maestro Eduardo Velázquez Richards³¹. Después se realiza el marcador, lo que permite la visualización del proyecto a través de un teléfono celular. Esto se requiere una aplicación que fue realizada con el programa Arduino y Unity. El marcador es basado en la vivienda rural como se puede observar en la figura 46, en este al colocarlo en una superficie o desde la Tablet se presenta el proyecto arquitectónico que permite mayor explicación de la vivienda rural.

³⁰ Es un programa informático dedicado al desarrollo de gráficos 3D por ordenador, efectos especiales, animación y de dibujo

³¹ Maestro en Ciencias Matemáticas y Profesor de Asignatura en el Programa de Maestría en Arquitectura, Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM.

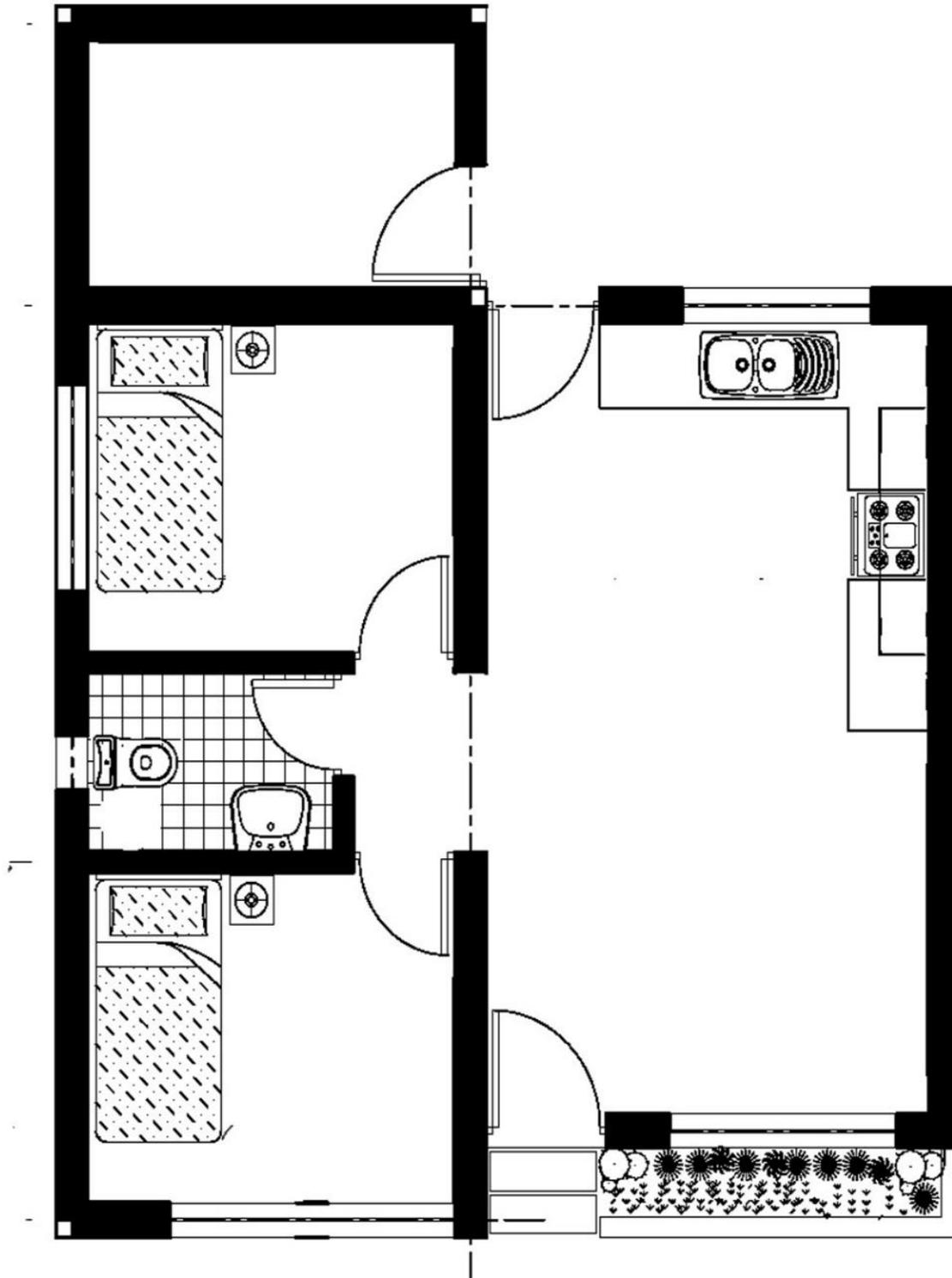


Figura 46. Marcador del proyecto arquitectónico. Elaboración propia (Septiembre, 2020)

Inclusive, si cuenta con la aplicación puede colocar su celular en el marcador y observará la vivienda, como en la figura 47, puede moverse en toda la periferia del marcador, ya que, permite un mayor rango de visualización y detalle del proyecto.

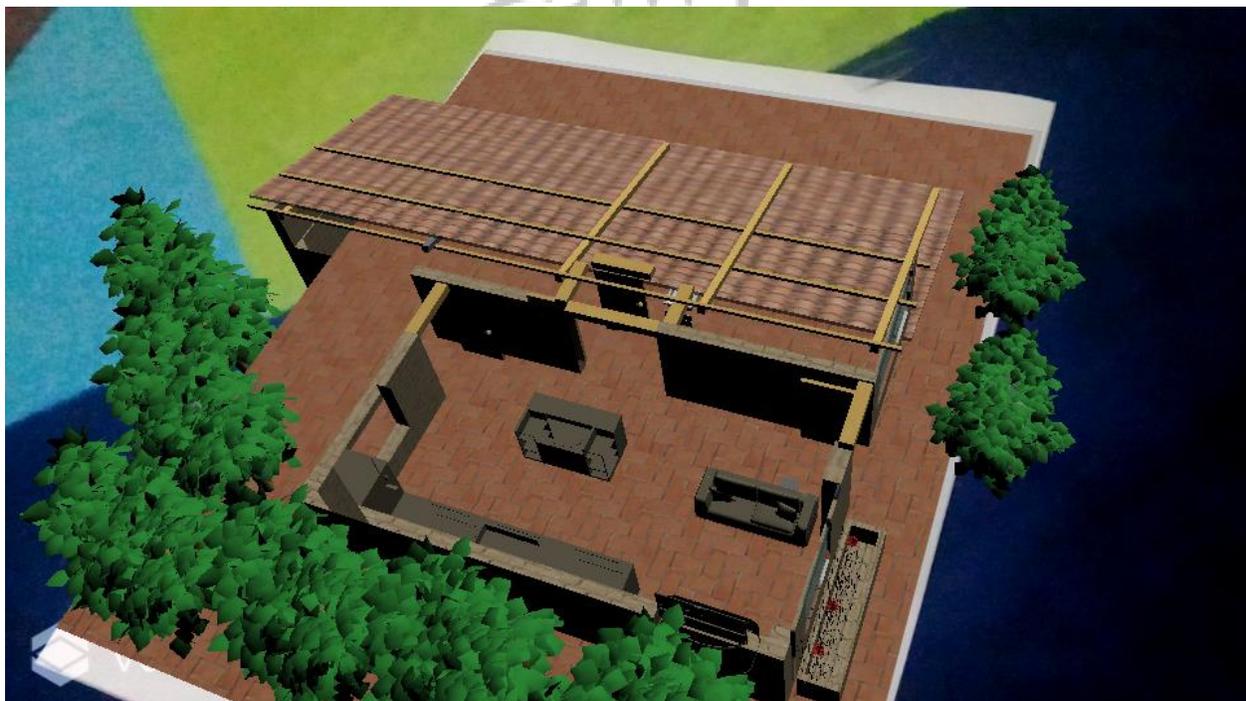
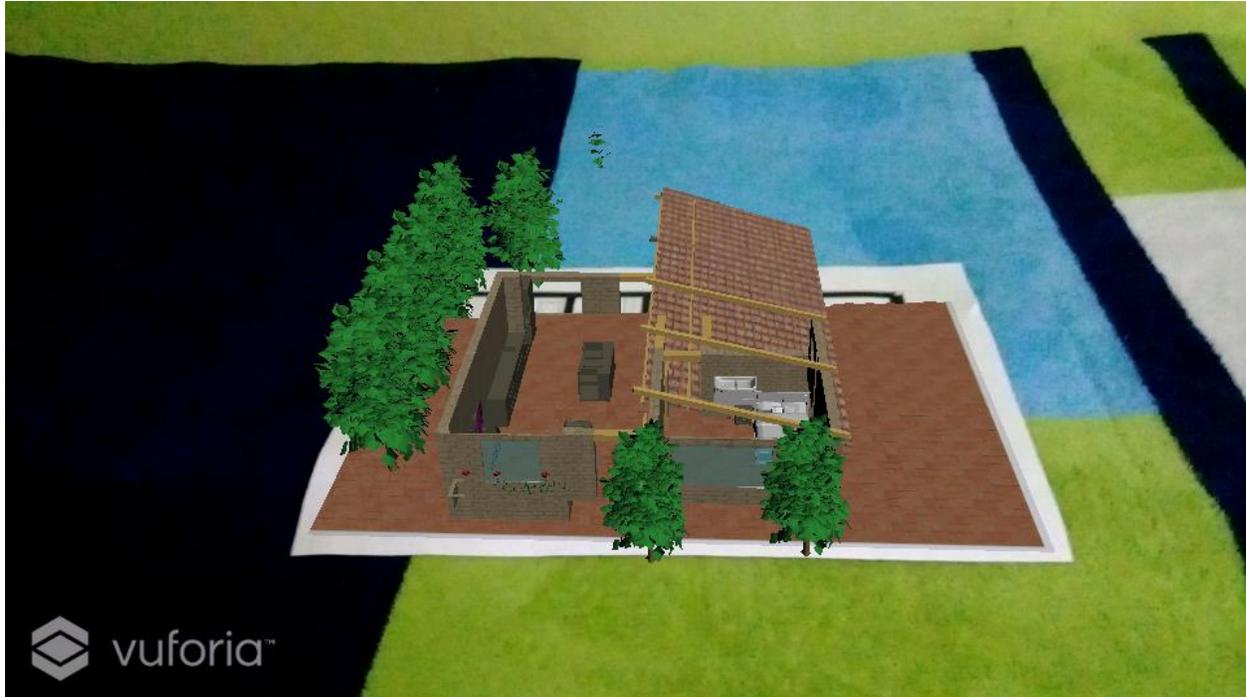


Figura 47. Propuesta de la vivienda rural obtenida del marcador con realidad aumentada.

Elaboración propia (Septiembre, 2020)

Finalmente, al obtener la propuesta arquitectónica, a su vez, se realiza el procedimiento constructivo del mejoramiento, esto elaborado con una animación de realidad aumentada. Se modeló el sistema constructivo con ayuda del programa de Maya Autodesk y la textura se insertó con mapeos UV editados en el programa de Photoshop. La animación se realizó con el programa Unity donde se obtuvo mayor visualización y menor peso. Al obtener estos datos, se procedió a programarlo en Arduino donde arroja una aplicación de Android; no sin antes mencionar sobre el marcador, que este tiene el diseño del sistema constructivo para poder diferenciarlo de la propuesta arquitectónica, lo que se obtuvo con el programa de Vuforia, como se observa en la figura 48.

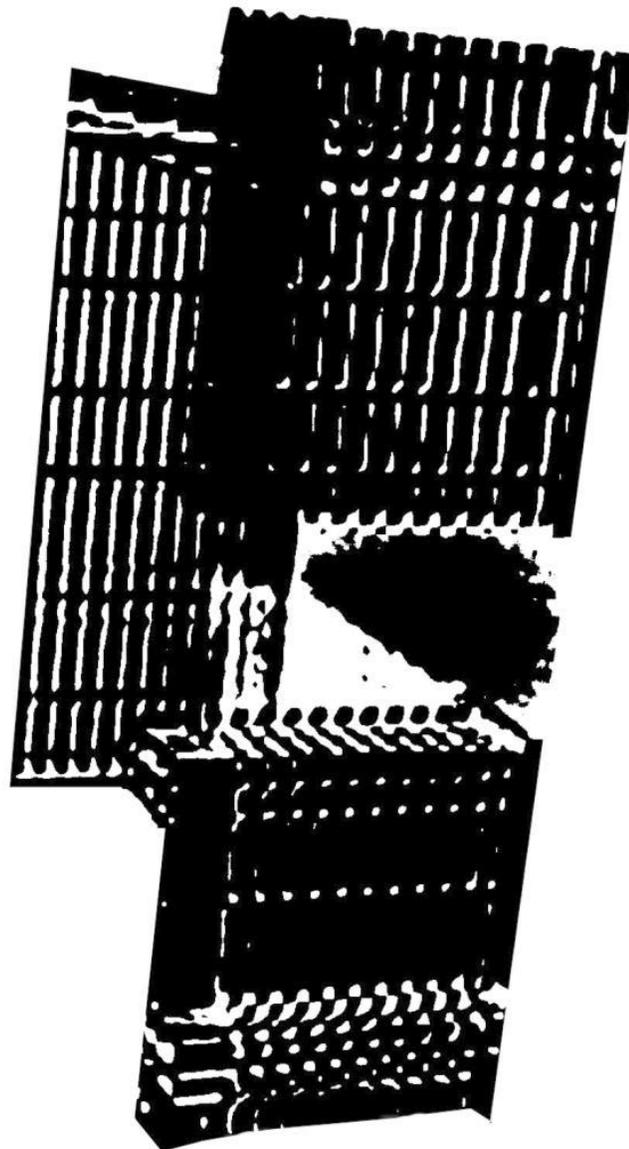


Figura 48. Marcador de la animación del mejoramiento del sistema constructivo. Elaboración propia
 (Septiembre, 2020)

En la animación se observa la ejecución del sistema constructivo que da inicio por los cimientos, sobrecimientos. El armado del muro de adobe que este es realizado con un refuerzo a cada 3 hileras, después se procede a colocarse la viga collar sobre la periferia del muro. Recordando que el adobe es realizado con 90% de tepetate y 10% arcilla y el refuerzo es con varas del árbol de pino, como se observa en la figura 49.

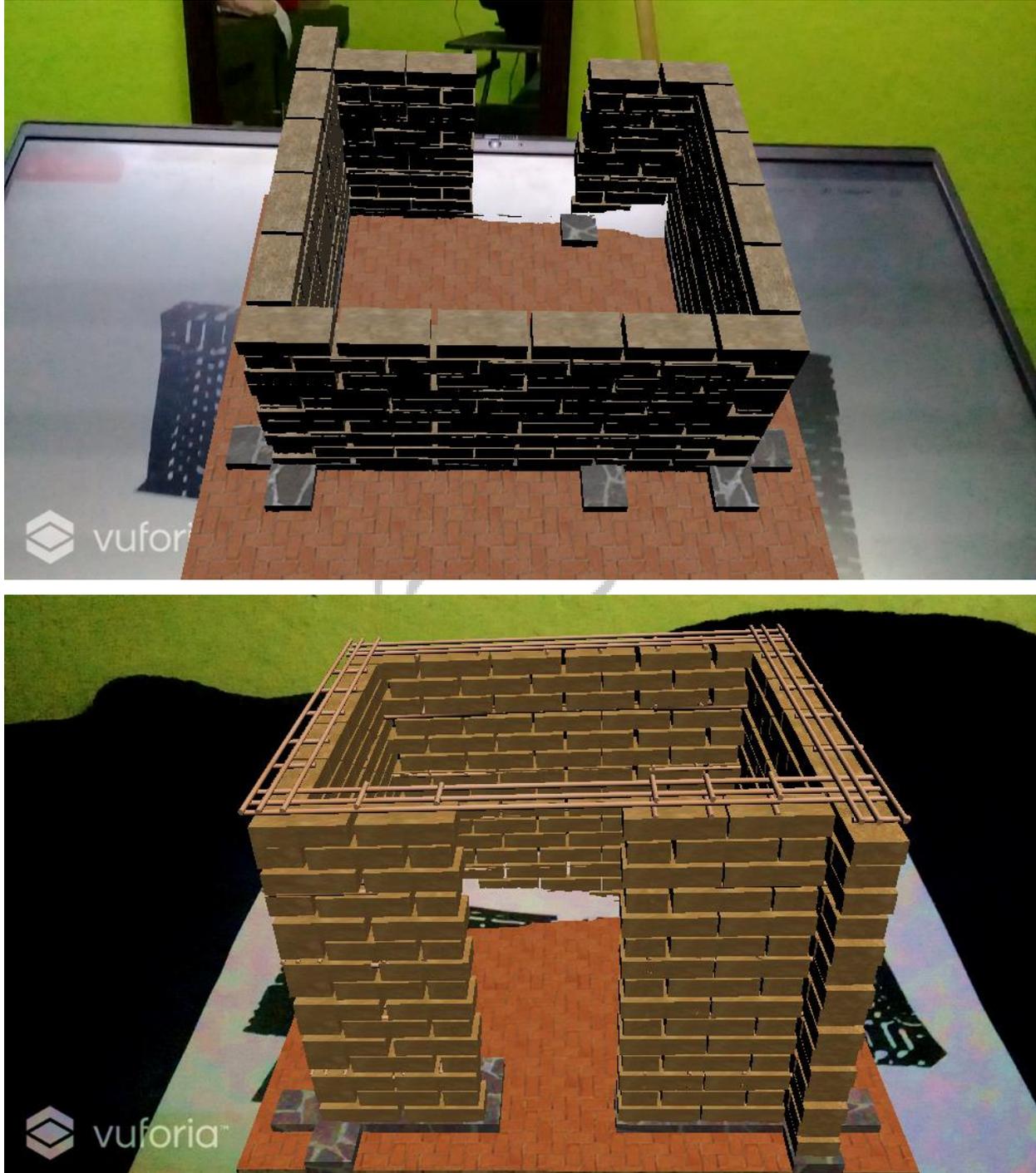


Figura 49. Animación del mejoramiento del sistema constructivo. Elaboración propia (septiembre, 2020)

Conclusiones

Al realizar la investigación en los ensayos de la tierra se observó que la tierra es abundante en arenas entonces al realizar su prueba de compresión se obtiene una resistencia menor de 5kg/cm^2 , así como en la prueba de cohesividad es menor a 5cm su rompimiento y en el ensayo de sedimentación se observa mayor porcentaje de arenas. Después su ensayo de cohesividad donde da 3.5 cm de largo aprox. del espécimen.

Posteriormente, el ensayo de retracción volumétrica donde se observa muy pocas fisuras por parte del material. De igual forma se hicieron experimentos en los laboratorios de la FES Aragón. Al realizar la granulometría, la muestra del tepetate es alta en arenas como lo marca la gráfica en el capítulo 3.

Entonces es donde parto para decir que si se agrega un 10% en arcillas pudiera tener mayor resistencia a la compresión, pero se realizaron ensayos del 10%, 30 y 50% de arcillas al tepetate. Donde fue más efectivo el 10% al tener en la prueba de cohesividad muestras de 5 a 7 cm y menor agrietamiento en la prueba de retracción volumétrica.

Una pregunta de la investigación fue ¿Qué realmente fue lo que falló en las comunidades rurales? La respuesta sería la unión de elementos de concreto armado con las viviendas de tierra (adobe) y posiblemente por tener un porcentaje un poco alto en arenas los adobes. También la otra pregunta fue ¿Por qué fallaron los materiales que fueron afectados por el sismo? En esta pregunta sería similar a la respuesta de la pregunta anterior, el tener la combinación de elementos estructurales de concreto armado con muros de adobe.

Se elaboró un modelado de la vivienda y una aplicación para poder ver la vivienda en realidad aumentada con ayuda del celular, donde también se vería el ensamble de los adobes y las varas (este sería la animación). Con ayuda de marcadores se vería el proyecto y su ensamble del sistema constructivo.

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 01. El ciclo de la tierra | 21 |
| Figura 02. Gráfica de volumen-constante..... | 22 |
| Figura 03. Proyectos y técnicas avanzadas..... | 26 |
| Figura 04. Recomendaciones para una casa sismorresistente | 28 |
| Figura 05. Entramado en adobes | 30 |
| Figura 06. Ramas de arbustos en adobes | 31 |
| Figura 07. Vivienda afectada en Huehuetlán..... | 31 |
| Figura 08. Ubicación del municipio Ecatzingo. | 33 |
| Figura 09. Climas del municipio de Ecatzingo..... | 34 |
| Figura 10. Suelos dominantes del municipio de Ecatzingo..... | 35 |
| Figura 11 Regionalización sísmica de la República mexicana..... | 38 |
| Figura 12. Parroquia de San Pedro y San Pablo..... | 40 |
| Figura 13. Casa de adobe de Ecatzingo del cuadro municipal..... | 41 |
| Figura 14. Vivienda de adobe de Ecatzingo, toma frontal de la casa..... | 41 |
| Figura 15. Vivienda de adobe de Ecatzingo, toma lateral de la casa..... | 42 |
| Figura 16. Vivienda de concreto en Ecatzingo, desplantada sobre tierra | 42 |
| Figura 17. Vivienda de concreto y adobe en Ecatzingo afectada por el sismo..... | 43 |
| Figura 18. Pruebas de sedimentación..... | 45 |
| Figura 19. Ensayos de cohesión | 46 |
| Figura 20. Preparación de la muestra para el ensayo de expansión y retracción | 47 |
| Figura 21. Muestras del ensayo de expansión y retracción..... | 47 |
| Figura 22. Procedimiento para la elaboración de los cubos de adobe con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 48 |
| Figura 23. Prueba de compresión de los cubos de adobe elaborados con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 49 |
| Figura 24. Gráfica del análisis granulométrico de la tierra de Ecatzingo, Estado de México..... | 51 |
| Figura 25. Proceso de la prueba de límites de consistencia de la tierra recolectada de Ecatzingo, Estado de México..... | 52 |
| Figura 26. Molde de contracción lineal con tierra de Ecatzingo, Estado de México..... | 53 |
| Figura 27. Tamizado y dosificación de la muestra..... | 56 |
| Figura 28. Ensayo de sedimentación 90% Tepetate y 10% Arcilla..... | 56 |
| Figura 29. Ensayo de cohesividad 90% Tepetate y 10% Arcilla..... | 57 |
| Figura 30. Ensayo de retracción 90% Tepetate y 10% Arcilla..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 31. Ensayo de sedimentación 70% Tepetate y 30% Arcilla; dosificado de la muestra | 58 |
| Figura 32. Ensayo de cohesividad 70% Tepetate y 30% Arcilla..... | 59 |
| Figura 33. Ensayo de retracción 70% Tepetate y 30% Arcilla. | 60 |
| Figura 34. Dosificación de la muestra 50% de tepetate – 50% arcilla | 60 |
| Figura 35. Ensayo de sedimentación 50% Tepetate y 50% Arcilla..... | 61 |
| Figura 36. Ensayo de cohesividad 50% Tepetate y 50% | 61 |
| Figura 37. Ensayo de retracción 50% Tepetate y 50% Arcilla. | 62 |
| Figura 38. Planta de la vivienda rural..... | 64 |
| Figura 39. Cimiento de mampostería de piedra. | 65 |
| Figura 41. Vivienda con absorción de humedad..... | 65 |
| Figura 40. Vivienda con inundación. | 65 |
| Figura 41. Viga collar..... | 66 |
| Figura 42. Estructura del techo..... | 67 |
| Figura 43. Espectro de Respuesta..... | 68 |
| Figura 44. Espectro de Diseño Transparente Regional..... | 69 |
| Figura 45. Espectro de Diseño Modificado..... | 71 |
| Figura 46. Marcador del proyecto arquitectónico..... | 73 |
| Figura 47. Propuesta de la vivienda rural obtenida del marcador con realidad aumentada. | 74 |
| Figura 48. Marcador de la animación del mejoramiento del sistema constructivo. | 75 |
| Figura 49. Animación del mejoramiento del sistema constructivo | 76 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 01. Sismos en la República Mexicana que tuvieron presencia en el municipio de Ecatzingo | 38 |
| Tabla 02 Datos obtenidos de la prueba de compresión de los cubos de adobe elaborados con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 50 |
| Tabla 03 Datos obtenidos de la prueba de análisis granulométrico con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 51 |
| Tabla 04 Datos obtenidos de la prueba de límites de consistencia con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 53 |
| Tabla 05 Datos obtenidos de la prueba de contracción lineal con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 54 |
| Tabla 06 Datos obtenidos del ensayo de cohesividad, 90%Tepetate y 10% Arcilla con material recolectado en el municipio de Ecatzingo. | 57 |
| Tabla 07 Datos obtenidos del ensayo de cohesividad, 70%Tepetate y 30% Arcilla con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 59 |
| Tabla 08 Datos obtenidos del ensayo de cohesividad, 50%Tepetate y 50% Arcilla con material recolectado en el municipio de Ecatzingo | 62 |
| Tabla 09 Factor correctivo por irregularidad | 70 |



Referencias

- Arnal, S & Betancourt, S. (2020). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ciudad de México, México: Editorial Trillas.
- Barbeta, G. (2002). *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Carazas, W. (2002). *Guía de construcción parasísmica*. Villefontaine Cedex, Francia: Ediciones CRATerre.
- Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo*. Ciudad de México, México: CFE.
- Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de diseño de obras civiles. Diseño por viento*. Ciudad de México, México: CFE.
- Coordinación General de Protección Civil del Estado de México. (2019). *Atlas de Riesgos de Ecatzingo*. Zinacantepec, México: Coordinación General de Protección Civil.
- El Gráfico. (2017, 28 de septiembre). *En Ecatzingo, Edomex, fenómenos naturales no dan tregua*. Recuperado de <http://www.elgrafico.mx/>
- Excelsior. (2017, 20 de septiembre). *Más de 600 viviendas dañadas en Ecatzingo tras sismo*. Recuperado de <http://www.excelsior.com.mx/>
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra*. Barcelona, España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- Guerrero, L. & Vargas, J. (2015). Local seismic culture in Latin America, London, UK. *Seismic Retrofitting. Learning from Vernacular Architecture*, 61-66.
- Guerrero, L. (2019, 01 de enero). Comportamiento sísmico de viviendas tradicionales de adobe, situadas en las faldas del volcán Popocatepetl, México. *Gremium 11 Revista de restauración arquitectónica*, (06), 104-117.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México, México: INEGI.
- Ley de Vivienda. (2017, 23 de Junio). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/>
- Minke, G. (2006). *Manual de Construcción en tierra*. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Órgano Oficial del H. Ayuntamiento de Ecatzingo, Estado de México. (2019, 30 de marzo). *Plan Ecatinguense de Desarrollo Municipal 2019-2021*. (05 E). Recuperado de <https://issuu.com/ecatzingo2019sistemas/>
- Rosales, A. (1987). *Monografía municipal de Ecatzingo*. Estado de México, México: Gobierno del Estado de México.
- Sánchez, J. (2012). *La vivienda social en México*. Recuperado de <http://conurbamx.com/>
- Secretaría de Desarrollo Social. (2010). *Cédulas de Información Municipal Ecatzingo*. Recuperado de <http://www.microrregiones.gob.mx/>
- Secretaría de Desarrollo Social. (2016). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2016*. Recuperado de <http://diariooficial.gob.mx>
- Servicio Sismológico Nacional. (2017). *Reporte especial sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos*. Recuperado de <http://www.ssn.unam.mx/>
- Yuste, B. (2010). *Arquitectura de tierra, caracterización de los tipos edificatorios*. Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Zedillo, Carlos et al. (2016) *Vivienda INFONAVIT*. Recuperado de <https://infonavit.janium.net/>

Fuentes vivas

Señor Leonor Flores Rosales fue entrevistado en su vivienda del municipio de Ecatzingo, Estado de México.

Licenciado Fortunato Espinoza Pérez fue entrevistado en su vivienda del municipio de Ecatzingo, Estado de México.

Licenciada Rocío Solís Robles, presidenta municipal de Ecatzingo de Hidalgo, fue entrevistada en el palacio municipal.

