

MODELO DE UN SISTEMA AUTOCONSTRUIBLE MODULAR A BASE DE TAPIAL Y BAJAREQUE EN MIXQUIAHUALA DE JUÁREZ, HIDALGO

MODEL OF A MODULAR SELF-BUILDING SYSTEM BASED ON TAPIAL AND BAJAREQUE IN MIXQUIAHUALA DE JUÁREZ, HIDALGO

Rodríguez-Ruiz, Jorge^a, Neria-Hernández, Rogelio^a, Contreras-López, Christopher^a, Díaz-Flores, Laura^a, González-Monroy, David,

^aInstituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (División de Arquitectura), Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, 42700, jrodriguez@itsoeh.edu.mx

RESUMEN: El tema sobre el medio ambiente y las repercusiones que hoy en día se tiene sobre el uso excesivo de los recursos naturales han sido motivo de infinidad de investigaciones de distintas áreas, aunque en la práctica aun no sea suficiente para desacelerar problemas como el calentamiento global; siendo la industria de la construcción una de las más contaminantes, desde la extracción de materias primas, pasando por la transformación, traslados y la construcción generando una gran cantidad de dióxido de carbono. En este contexto, la falta de una vivienda digna, ha hecho que familias, sobre todo en comunidades rurales, carezcan de este patrimonio, o en el mejor de los casos, las autoconstruyen con recursos propios, sin embargo, suelen tener algunos problemas de diseño, funcionamiento y estructura. Una posible solución a ambos problemas son las construcciones de viviendas con materiales y/o sistemas vernáculos por la baja o nula huella ambiental, por el bajo costo y porque en muchos de los casos son fáciles de construir; desafortunadamente estas prácticas más que ir en aumento, se están perdiendo debido a que hay poco conocimiento sobre los procesos de realización de este tipo de construcciones, por los prejuicios hacia las viviendas vernáculos. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es evidenciar la eficacia este tipo de construcciones a través de un módulo autoconstruible de bajo costo a base de tapial y bajareque, con insumos naturales propios de la región del Valle del Mezquital, Hidalgo; esto con el fin de minimizar la huella medioambiental. Este modelo se proyectó en dos fases, una de diseño y otra la construcción, siendo esta última la que se expone en este trabajo; dicha fase se desarrolló en cinco etapas que corresponden a la estructura y a los sistemas constructivos utilizados.

Palabras clave: *Vivienda vernácula, Autoconstrucción, Desarrollo Sustentable*

ABSTRACT: The issue of the environment and the repercussions that today are had on the excessive use of natural resources have been the subject of countless investigations in different areas, although in practice it is still not enough to slow down problems such as global warming. In addition to this, the lack of decent housing has meant that families, especially in rural communities, lack this heritage, or in the best of cases, self-build their homes with their own resources, however, they usually have some problems of design, function and structure. A possible solution is the construction of houses with materials and / or vernacular systems due to the low or null environmental footprint, because of the low cost and because in many cases they are easy to build; Unfortunately, these practices are more than increasing, they are being lost because there is little knowledge about the processes of realization of this type of construction, due to prejudices towards vernacular housing. Based on the foregoing, the objective of this work is to demonstrate the effectiveness of this type of construction through a low-cost self-build module based on mud and bajareque, with natural inputs from the region of Valle del Mezquital, Hidalgo; this in order to minimize the environmental footprint. This model was projected in two phases, one for design and the other for construction, the latter being the one that is exposed in this work; this phase was developed in five stages that correspond to the structure and construction systems used.

Keywords: Vernacular housing, Self-construction, Sustainable Development

INTRODUCCIÓN

En el Estado de Hidalgo, de acuerdo al Consejo Nacional de la Población de Evaluación de la Política de Desarrollo Social 2015 (CONEVAL) el 16.6% de los municipios (14 Municipios); se encuentran en un rango de pobreza de 0 a 40% de los habitantes del Estado, un 38.06% de los municipios (32 municipios) se encuentra en un rango de 40-60% de la población y otro 38.06% de los municipios (32 municipios) se encuentra en un rango de pobreza de 60-80%. [1], dentro de este último se encuentra el municipio de Mixquiahuala y los municipios conurbados (Chilcuautla, Progreso de Obregón, Santiago de Anaya, San Salvador, Francisco I. Madero, Ajacuba, Tlahuelilpan y Tezontepec). Si dentro de estos índices de pobreza, se le agrega el aumento de población, el cual no coincide con el aumento en el número de viviendas; esto puede analizarse desde varios enfoques, por ejemplo, la falta de recursos para la construcción y la ampliación de viviendas, migración hacia otros Estados o hacinamiento habitacional.

En este sentido, la construcción de viviendas en Mixquiahuala sólo creció 3%, en el año 2000 existían 7,842 hogares, para 2010 aumentó a 10,514. Este "incremento" en la construcción de viviendas ha promovido la demanda de materiales para la construcción, como el block y cemento, lo que origina la explotación de minas para obtener materias en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo [2], produciendo un impacto negativo en el medio ambiente, debido a la extracción y transformación de los materiales y el traslado de los mismos.

Durante la última década, en diversas localidades clasificadas como marginadas en la región del Valle del Mezquital existen muy pocos ejemplos de sistemas vernáculos con

arquitectura de tierra; y muchos menos casos en que éstas han sido diseñadas y construidas por profesionales. Las pocas viviendas que iniciaron siendo vernáculos; debido al incremento de usuarios, se realizaron ampliaciones, recurriendo a la autoconstrucción por medio del sistema de block y mortero sin una planificación; esto se fundamenta en encuestas realizadas en algunas zonas marginadas del municipio de Mixquiahuala, donde se muestran que el 100% de los encuestados no recurrieron a un arquitecto lo que puede provocar disfuncionalidad en la distribución de los espacios, que éstos no tengan ventilación o iluminación natural y/o fallas estructurales en losas y muros lo que implica riesgos para los habitantes.

En esta misma encuesta se identificó que los usuarios se apoyaron en albañiles, familiares y amigos para edificar su vivienda, también se registró que los habitantes de este municipio no consideran como una opción la construcción con sistemas vernáculos, un poco por falta de conocimiento sobre la elaboración, sobre los beneficios climáticos y de costo; aunado a esto, hay una clara pérdida de la cultura y tradiciones mexicanas; pese a que en La carta del patrimonio vernáculo construido, ratificada por la 12ª Asamblea General en México de ICOMOS en octubre de 1999 [3], considera como una línea de acción la conservación e implementación de los sistemas tradicionales de construcción. La arquitectura hecha con tierra como materia prima data desde hace 10,000 años, por ejemplo, la ciudad de Jericó en lo que hoy es Israel. En el caso mexicano se tienen datos de arquitectura de tierra de la Época Preclásica de 1700 d. de C. "las tribus vivían en pequeños poblados rústicos formados por chozas desparramadas. Estas habitaciones primitivas eran rectangulares y construidas con el sistema conocido bajo el nombre de bajareque" [4].

En otro orden de ideas, estudios realizados por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) revelan que la industria de la construcción es de los mayores sectores generadores de CO² con 50%, debido al uso de combustibles fósiles y la alta demanda energética en el proceso de construcción [5].

Con base en lo anterior; el presente trabajo pretende describir el proceso de autoconstrucción de un modelo de vivienda a base de un sistema constructivo de tapial y bajareque, que sea estructuralmente estable y constructivamente sustentable para viviendas de bajos recursos. Este estudio, la aplicación y los resultados se realizaron en el Municipio de Mixquiahuala debido a la alta marginación, la necesidad de viviendas de bajo costo que ayuden a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Esta propuesta surgió con base en las necesidades, insumos y contexto del Municipio de Mixquiahuala de Juárez, sin embargo, al ser insumos que pueden obtenerse en casi cualquier parte, el sistema puede ser replicado en otros contextos.

Este trabajo se estructura en una metodología dividida en nueve fases que conforman el sistema constructivo: cimentación, tapial, bajareque y entrepiso.

Marco Referencial

1. Autoconstrucción

La autoconstrucción resurge como solución a la falta de vivienda y carencia de recursos para la adquisición de una por los medios tradicionales (contratación de equipo especializado y/o crédito hipotecario). Según Sergio A. M. (2006) [6]; entre 40% y 60% de los parques de vivienda en Latinoamérica son autoconstruidos. Los datos en México no son muy diferentes ya que CIDOC 2012 [6]

describe que 6 de cada 10 viviendas son construidas con estas características. Para Tillería la autoconstrucción es "...un modo de construir cuyo génesis es el momento en que el hombre crea su hábitat, no responde a estilos, no representa épocas, no necesita de arquitectos, son quienes las habitan los encargados de modelarlas, ha estado allí, testigo de la cultura de los hombres: la arquitectura vernácula." [7].

Más que sólo la edificación de una vivienda, la autoconstrucción representa una interacción social y cultural, en la cual el propietario (incluso con su familia) se involucra de manera directa con la construcción de la vivienda; así lo sostiene Romero, al decir que, "La participación activa de los ciudadanos en la solución de su problema habitacional, como se define la autoconstrucción, es una forma de cooperación laboral que generalmente involucra redes familiares y vecinales y se sustenta en la incorporación del valor agregado, por vía del trabajo familiar, que, en otras circunstancias, impactaría el costo de la construcción al erogarse el pago de operarios" [8].

Es importante mencionar que la autoconstrucción tiene algunos inconvenientes: por ejemplo, al no estar acompañado de un profesional de la construcción pueden presentarse situaciones adversas como una mala estructuración del inmueble, un costo más elevado de la obra, espacios no funcionales, problemas de gestión y normatividad. Sin embargo, con algunos cursos, pláticas, ayudados de instructivos y/o manuales y algún tipo de orientación profesional, la autoconstrucción puede ser un método realmente eficaz en todos los sentidos para las personas de escasos recursos para la adquisición, remodelación o ampliación de su vivienda.

Arquitectura vernácula

La arquitectura vernácula se puede definir como la arquitectura sin arquitectos ya que comprende un modo de construir que, en palabras de Jocelyn Tillería González “[...] no responde a estilos, no representa épocas, no necesita de arquitectos, son quienes las habitan los encargados de modelarlas, ha estado allí, testigo de la cultura de los hombres: la arquitectura vernácula” [7]. Al hablar de arquitectura vernácula, con frecuencia va de la mano la autoconstrucción o arquitectura autóctona.

La arquitectura vernácula es un sistema constructivo basado en la tradición y la identidad; en este sentido Jocelyn Tillería González lo describe como “un sistema social y cultural complejo, que nace de la relación hombre-entorno, y que refleja de una forma directa, las maneras de habitar” [8]. Se trata de una vivienda que logra satisfacer las necesidades de nuestro siglo XXI; incluso la “Carta del Patrimonio Vernáculo Construido” de ICOMOS en 1996, confirma que es: “La expresión fundamental de la identidad de una comunidad, de sus relaciones con el territorio y al mismo tiempo, la expresión de la diversidad cultural del mundo [...] constituye el modo natural y tradicional en que las comunidades han producido su propio hábitat. Forma parte de un proceso continuo, que incluye cambios necesarios y una continua adaptación como respuesta a los requerimientos sociales y ambientales.” [3].

Con base en esto, la arquitectura vernácula, no sólo es el uso de materiales naturales y no industrializados para la edificación de una vivienda, se trata también de una identidad compleja que incorpora la cultura de la población.

La construcción de una vivienda a base de tierra, es necesario analizar el tipo de tierra que se tiene, ésta se divide en estratos según

la profundidad y sus características; como se representa en el esquema de Fabio Gatti [9], figura 1.

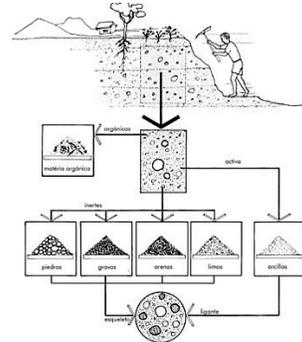


Figura 1. División de los estratos y sus características. Fuente: Estudio Comparativo de los Materiales, Productos y Técnicas Contemporáneas en Tierra. Arq. Fabio Gatti.

La Norma UNE 103204:1993 [10] define que para la determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo nos indica que se debe rechazar cualquier tierra que contenga cantidades iguales o mayores a 2% de materia orgánica. Además, se deberán rechazar los suelos que tengan cantidades iguales o mayores a 2% de sales solubles según la Norma UNE 103205:2006 [10].

Los componentes de la “tierra” deben ser: Arcilla que está compuesta por sedimentos detríticos naturales como minerales de grano fino (filosilicatos) principalmente, en los cuales se encuentra illita, montmorillonita, clorita, caolinita e interestratificados; y algunos minerales gruesos como el cuarzo, feldspatos (alcalinos y plagioclasas), carbonatos (calcita y dolomita), yeso y óxidos de hierro. [11]. Otro componente es el Limo, sedimento natural, no posee características coloides, al encontrarse en un estado seco carece de cohesión y la resistencia a la fricción es reducidamente menor a las arenas, [11]. La Arena está constituida por minerales estables, en estado seco carecen de cohesión; las propiedades de la arena son opuestas a la arcilla, la arena carece de

capacidad plástica según Gisbert Blanquer [12]. Finalmente, la grava es el componente más estable al estar en contacto con el agua, carece totalmente de capacidades cohesivas, elásticas, compresivas y de capilaridad. En este sentido, muchos de los componentes se encuentran en los suelos de la región de Mixquiahuala y municipios aledaños, y coinciden los componentes presentados con los de los estudios físicos, químicos y micromorfológicos de los suelos en el cerro Denganthza [13].

Sistemas constructivos vernáculos

Los sistemas constructivos vernáculos se basan en la parte nativa del sitio, de la raíz misma de la región donde se plantea construir. El elemento constructivo se dota de una identidad forjada por la cultura y tradición de su entorno. Una de sus particularidades es que, al emplear los materiales de la zona, la huella ecológica se reduce, por lo tanto, es amigable con el ambiente al mismo tiempo que da una mejor calidad de vida a sus habitantes. Una ventaja de este tipo de sistemas constructivos es que, al ser materiales autóctonos, su construcción se realiza de forma progresiva según los recursos de los usuarios

Existe una gran variedad de técnicas de construcción vernácula, sin embargo, nos enfocaremos principalmente en dos, el Tapial y el Bahareque.

A continuación, se describe brevemente en que consiste cada uno, ya que son los elementos que conforman el sistema constructivo vernáculo mixto.

Tapial

Se conoce como Tapial al sistema constructivo de muros de tierra apisonada a través de un encofrado que suele ser de madera, aunque también puede ser metálico.

En el proceso, se van colocando dos maderas paralelas, entre las que se vierte tierra húmeda de 15 cm de espesor y se apisona capa por capa. El ancho mínimo del muro deberá ser de 30 cm.

Para el sistema constructivo que se plantea en este trabajo, el tapial funcionará como “columnas” al ubicarlos sólo en las esquinas y tendrán forma de “L”, teniendo un grosor de 60 cm lo que permite recibir la carga del segundo nivel. Si bien, lo ideal sería emplear el tapial en la totalidad de los muros perimetrales de la vivienda para dotar una máxima resistencia en la planta baja, el aplicarlo sólo en las esquinas reduce el tiempo de construcción y disminuye drásticamente la cantidad de tierra necesaria para construir los elementos de tapial, esto sin poner en riesgo la estructura y estabilidad de la vivienda.

Bajareque

El bajareque o conocido también como quinchá, consiste en una estructura en forma de malla doble (compuesto usualmente de caña, bambú, carrizo o ramas) y el bastidor; dichos elementos son colocados de forma vertical y horizontal, dejando un espacio entre ellos donde se integra una mezcla de barro con paja. Los bajareques tienden a realizarse en paneles rectangulares de 10 cm de espesor en promedio. Estos paneles se componen por cuatro elementos: estructura maestra, estructura auxiliar, relleno y revestimiento.

2. Desarrollo experimental

Pruebas de la tierra

Para determinar los componentes de la tierra con el que contamos, se requiere realizar una serie de pruebas de campo; basadas en Aedo, W. C. (2002) [14], las cuales permitirán conocer el porcentaje de los componentes. Éste mismo autor explica que es importante

usar tierra debajo del Horizonte “O” o tierra debajo de la capa “orgánica”, para evitar que en las construcciones haya raíces y/o plantas y debe ser tamizada previamente, figura 2.



Figura 2. Tamizado para obtener la tierra para pruebas. Sedimentación o prueba de botella. Fuente: Elaboración propia.

Sedimentación o prueba de botella

Esta prueba ayuda a detectar las proporciones por medio de la sedimentación, separando en capas los diferentes compuestos según su peso propio, figura 3.



Figura 3.
Fuente: <https://www.arquitecturaysalud.com/bioconstruccion/principios-de-bioconstruccion> (consultada el 9 de febrero de 2020)

Proceso

1. Se verificó que el frasco estuviera seco y limpio.
2. Se le colocó masking tape al frasco de la base hasta la boca, esto funcionó para determinar la cantidad de gravas, gravillas, arena, limos y arcillas.
3. Se vertió tierra hasta la mitad de la capacidad de la botella y se marcó en el

masking tape donde llega la tierra con la letra “T” de Total.

4. Se rellenó lo sobrante de la botella con agua dejando espacio suficiente para que pueda agitarse y se tapa.
5. Se agitó vigorosamente para que todas las partículas estén suspendidas en el agua, aproximadamente tarda unos 15 minutos.
6. Se colocó la botella inmediatamente sobre una mesa o superficie plana, enseguida se cuentan 15 segundos que es lo que tarda en asentarse las gravas y la arena, en donde se note esta capa, se marca con una línea.
7. Pasados los 15 minutos se observaron los limos y se marca con una línea en donde se encuentra la capa.
8. Se dejó reposar la botella 24 horas para que se sedimente totalmente la arcilla.
9. Pasado este tiempo se nota claramente hasta dónde llega la arcilla y se coloca una línea. Si queda flotando algo en el agua, es la materia orgánica.
10. Se mide la distancia entre capas y se anotan en una tabla,
11. Para sacar el porcentaje que hay de cada elemento se sacará por regla de 3. Se dividirá la medida en cm de la capa a sacar entre la medida en cm de la cantidad de tierra total existente, figura 4.



Figura 4. Prueba de botella, proceso de prueba de sedimentación. Fuente: Elaboración propia.

Si la arcilla se lleva el mayor porcentaje y es más de un 20%, la tierra es muy arcillosa y se requiere integrar arena. Si por el contrario es muy arenosa será necesario agregar arcilla a nuestra mezcla para que el material funcione estructuralmente y se eviten grietas o daños estructurales importantes.

En la tabla I se muestran las proporciones ideales entre los componentes. Se describe al elemento constructivo y el porcentaje máximo y mínimo para su aplicación en adobe, bajareque y tapial.

Tabla I. Proporción de los componentes para cada elemento constructivo

Elemento	Arcilla	Limo	Arena
Adobe	10% - 20%	15% - 25%	55% - 70%
Bajareque	20%	Máximo 30%	Min 50%
Tapial	10% - 30%		70% - 90%

Prueba de plasticidad (Prueba de churro)

El propósito de esta prueba es determinar la capacidad plástica que tiene la tierra

Proceso

1. Se colocan 100g o un vaso de tierra y se le atomiza agua, para que se humedezca paulatinamente. Usar el atomizador sirve para controlar la humedad del agua debido a que sí se excede ya no se podrá realizar el churro por la textura de atole que puede llegar a tomar por exceso de humedad, figura 5.

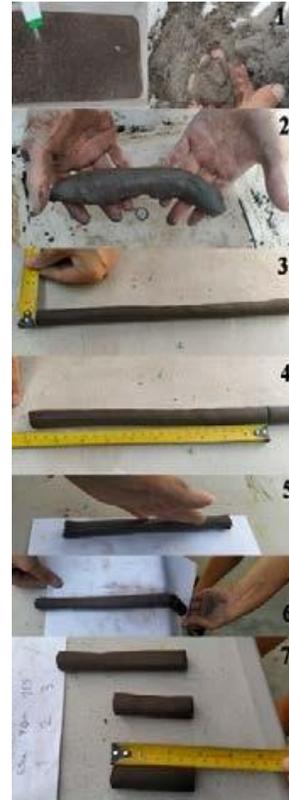


Figura 5. Proceso de prueba de churro. Fuente: Elaboración propia.

2. La tierra se humedece hasta lograr una bolita de tierra que no se pegue en las manos y queda como una plastilina.

3. Se amasa la bola sobre una superficie recta hasta lograr un churro de 1.5cm de diámetro y más de 30 cm de largo. Si el churro se abre mientras se amasa requiere un poco más de agua, pero sí se desmorona significa que es una tierra muy arenosa.

4. Con el metro se mide 25cm y se corta el churro

5. Se pasa el churro a una hoja rodándolo para evitar lo más posible su manipulación y se coloca la orilla de la mesa.

6. Se sujeta la hoja y se desliza de forma horizontal, con una mano se sujeta la hoja y con la otra se jala hacia abajo haciendo una forma de cuña con esta mano para sujetar las piezas que se irán cayendo, debido a que sí se cae al piso se requerirá repetir la prueba.

7. Se miden cada pieza que se cortó y si los cortes tienen una variación de más de 1 cm significa que la mezcla requiere que se amase más y se repite, tabla II.

Tabla II. Aplicación según dimensiones de las piezas de chorro resultantes

Sistema Constructivo	Medida del chorro (cm)
Tapial	0 - 3
Adobe	3 - 6
Bajareque y aplanados	6 - 9
Pinturas y acabado final	9 - 12
Mascarillas, alfarería, etc. No para construcción.	+12

Si se requiere hacer un tapial y el chorro se cortó a los 5 cm, figura 6, se necesita agregar más arena, la tierra del chorro se devuelve al molde y se agregan 10 g de arena. Posteriormente se repite la prueba hasta que se corte a una medida aceptable



Figura 6. Aplicación de la tierra según el corte del chorro.
Fuente: Elaboración propia.

Se requirieron 30 g o 1/3 de vaso para que se corte a 2, que ya entre en el valor para tapial, significa que por cada 3 botes de tierra del sitio se va a necesitar un bote de arena.

Procedimiento y modelación de los elementos del sistema vernáculo a base de bajareque y tapial

Los siguientes elementos del sistema constructivo vernáculo mixto corresponden a un módulo de 5x5 metros, es decir 25m².

Fase 1: Etapas previas a la construcción

a) Elección del sitio

La importancia de la elección del sitio radica en que de eso dependen los insumos

naturales con los que se cuenta para la construcción de la vivienda.

En este sentido, en el sitio se contó con la tierra adecuada para los tapiales, con carrizo para los bajareques, y la piedra volcánica para la cimentación.

Se debe considerar que el terreno sea lo mas plano posible para evitar integrar rellenos y que pueda haber desniveles una vez construido el módulo; se deben evitar colocar el módulo en rellenos sanitarios, barrancos, pantanos o cerca de ríos, por las afectaciones a la salud de los usuarios pero también a las afectaciones de la construcción, finalmente, es recomendable considerar que el terreno cuente con servicios públicos básicos, de lo contrario se deben implementar ecotecnia para sopesar dichas carencias.

El terreno está ubicado en la calle José María Morelos, Colonia Palmillas, Municipio de Mixquiahuala de Juárez Hidalgo. Es un lugar de suelo duro y seco para la construcción y cuenta con los servicios públicos.

b) Etapa de diseño

Este proyecto de investigación lleva tres años de realización, en un primer año se realizó la parte de la identificación, el segundo año la de diseño y el tercer año fue la construcción, en este sentido, ya se tiene un diseño, el cual está pensado que se construya en diferentes etapas, según las necesidades y recursos de los usuarios, en este sentido y como primera etapa esta justo el modulo que se construyó y que se presenta en este trabajo. En este sentido, el diseño corresponde a un local de 5x5 m con 4 esquinas de tapial y muros intermedios de bajareque.

Esta primera etapa se tiene considerado que sea para usuarios cuya necesidad va desde

independizarse siendo soltero hasta una pareja y contara con una puerta y una ventana, figura 7.

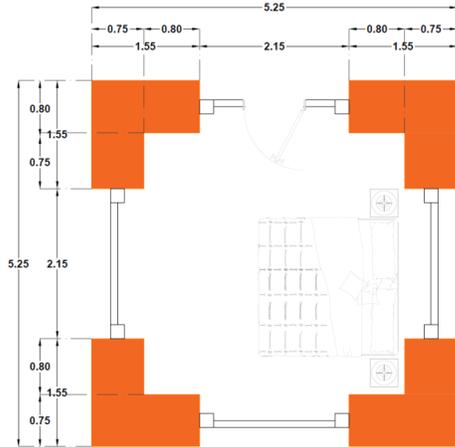


Figura 7. Plano del módulo de 5x5 m. Fuente: Elaboración propia.

c) Limpieza del terreno

Una vez tenido el terreno y el diseño, se procede a realizar el estudio para conocer el material que hay en el terreno y determinar precauciones y cuidados para no causar daños a los trabajadores y propiedades ajenas; así como identificar la flora que pueda formar parte del proyecto y cual se tendría que retirar. En esta etapa se comenzó a desmontar todas las piedras grandes, figura 8.



Figura 8. Estado actual del terreno donde se realizó el módulo con el cascajo que se encontró. Fuente: Elaboración propia.

d) Nivelación y medición del terreno

Una vez definido el nivel se verifica el ángulo correcto de los cuatro lados, se hace midiendo las dos diagonales.

Se colocan las varillas con el fin de definir el eje y el ancho de la cimentación.

Con ayuda de estacas o poste de madera marcar las distancias que se especifican en el plano.

Se delimitará la excavación para nuestra cimentación tanto longitud y ancho de la misma.

Con un hilo amarrar un lazo a una altura de 30 cm del nivel de la superficie.

Siguiendo el hilo se trazará con un calero toda la línea perimetral que delimitará nuestro trazó para la cimentación, figura 9.



Figura 9. Tendido de hilo para la nivelación del terreno. Fuente: Elaboración propia.

Fase 2: Cimentación

a) Excavación de zanjas

Se sugiere realizar con maquinaria dependiendo del tipo de suelo de la construcción.

Los materiales producto de la excavación deben ser colocados al lado por lo menos a 60 cm del borde de la excavación.

Se debe cavar a una profundidad de 60 cm y 65 cm de ancho conforme a los planos de cimentación.

Sobre el eje marcado con hilo, dejamos la mitad del ancho del cimienta para un lado, y la mitad para el otro lado también marcado con cal.

El fondo de la excavación debe quedar nivelado.

Se comprobará el nivel en cada esquina de la excavación y cada cruce de cimienta.

Al mismo tiempo se dejará un acabado fino en el perímetro de nuestra cimentación, figura 10.



Figura 10. Excavación de zanja para la cimentación. Fuente: Elaboración propia.

b) Cimentación de llantas

Se deberán rellenar completamente las llantas.

Se ponen al fondo la cimentación de llantas que sólo estará ubicado en esquinas que indican los planos.

Se colocarán 3 llantas por cada esquina.

Las tres llantas se rellenarán de mortero de tierra en un 80%, cemento 10%, cal 10%, acompañado de gravilla pequeña.

Se compactarán con la ayuda de un planador manual, hasta dejarlas con la superficie fina y plana.

Para el relleno de las llantas se sugiere rellenar las llantas en el lugar donde ya quedaran por el peso, figura 11.



Figura 11. Cimentación de llantas. Fuente: Elaboración propia.

c) Colocación de concreto simple

Tras la cimentación de llantas, se vierte una capa simple compuesta por cementó, grava y arena de 7 a 10 cm sobre la capa de material selecto ya compactada anteriormente; en total se requirieron 24 botes de grava, 10 botes de arena y 6 bultos de cemento.

Debe estar nivelada la cimentación de las llantas para que esta capa quede bien para la siguiente figura 12.



Figura 12. Placa de cemento para cimentación. Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Colocación de piedras para cimentación ciclópea. Fuente: Elaboración propia.

d) Colocación de cimentación ciclópea

Las piedras se deberán humedecer para que estas no absorban el agua del mortero, de la misma forma, debe humedecerse el fondo de la excavación y las paredes, cuidando que el agua no forme charcos.

Si el nivel de piso interior de la vivienda es más bajo que el nivel de la calle habrá inundaciones y, si esto ocurre los muros serán debilitados, por lo cual se sugiere subir el nivel de la cimentación.

Es muy importante dejar espacio entre piedra y piedra conforme vayan siendo colocadas para que el concreto puede entrar perfectamente bien entre las piedras.

Por lo menos dejar 5 cm entre piedra y pared de la zanja para darle una capa de recubrimiento de concreto.

Se sugiere colocar las piedras de poco en poco y al mismo tiempo colocar la mezcla para que haya una mejor cohesión.

La cimentación en este caso se subió 30 cm sobre el nivel de nuestro jardín o terreno vegetal.

Procederemos a colocar una cimbra perimetral a por arriba de nuestra cimentación, figura 13.

Fase 3: Ajuste, nivelación y precisado de la placa base para recibir los polines

a) Colocación de la placa base

Antes de enrasar la cimentación, procederemos a colocar nuestra placa base; esta irá precolada y nivelada de manera manual cómo se especifican. Esta placa es para asentar los polines que permitirán anclar los módulos de bajareque.

Dejando el hueco, el resto de la cimentación deberá de enrasarse con ayuda de una regla de madera perfectamente horizontal. Este hueco tendrá una profundidad de 20 cm.

El hueco será relleno con concreto es decir arena cemento y gravilla el cual va a recibir los anclajes de la placa base.

La placa se realizó con PVC.

Deberá de colocarse antes de terminar la cimentación, porque después es más complicado romper la piedra, figura 14.



Figura 14. Placa base para recibir los polines. Fuente: Elaboración propia.

b) Ajuste y nivelación de la placa base

La forma correcta de nivelar y colocar esta placa base es dejando un hueco en el eje de la cimentación la cual recibirá la placa junto con los anclajes este hueco será relleno con concreto es decir arena cemento y gravilla.

Este recibirá los anclajes y nuestra placa base la cual se deberá nivelar con nivel.

En el enrase de nuestra cimentación, nivelaremos con una vara y con el nivel hasta quedar perfectamente horizontal.

Se corto el tubo de 35 cm teniendo en cuenta que el plástico no es corrosivo.

Se unieron la tapa y el tubo para tener mejor nivelación entre el hueco formado anteriormente y la placa base.

Se introdujo en el hueco y se le coloco el cemento y a su vez se nivelo perfectamente, figura 15.



Figura 15. Nivelación de la placa base. Fuente: Elaboración propia.

c) Nivelación de cimentación

Para nivelar las rocas de la cimentación, se pondrán las caras más lisas de las piedras hacia arriba dejando la parte plana.

Haciendo uso de un nivel, se puede lograr un nivelado uniforme.

Sobre la cimentación se verificará que tenga nivel

Punto importante para hacer un nivel desde el comienzo se puso el hilo para nivelar tanto la altura como el ancho figura 16.



Figura 16. Nivelación de la cimentación ciclópea. Fuente: Elaboración propia.

d) Excedentes de nivelación

En esta etapa los excedentes que causa del mortero de unión y de la irregularidad de la piedra deben ser removidos al momento de su colocación para evitar que este endurezca y sea complicado removerlo.

Con ayuda de una cuchara de albañilería se remueve el excedente de mortero

Con la misma cuchara de albañilería se corrige dando pequeños golpes a los excedentes causados por la irregularidad geométrica de la piedra figura 16.



Figura 17. Liberación de excedentes de cimentación.
Fuente: Elaboración propia.

e) Berca de cimentación

La berca permitirá la unión del muro de tapial es decir tierra compactada con nuestra cimentación.

Dentro de los 90cm en la capa superior de nuestro sobre cimienta ciclópeo, se agregará un tipo de cimentación similar a la ya utilizada anteriormente, pero ésta tendrá una separación entre piedra y piedra más distante, de al menos 20 cm de separación.

El concreto que será vertido no deberá cubrir a las rocas a más de la mitad, esto servirá para recibir el muro de tapial, esta última capa será de 30 cm.

Esta berca se hará únicamente en las esquinas donde se colocará el muro de tapial. Se procedió a cimbrar para poder hacer la berca; una vez hecha la cimbra se colocaron las piedras.

Se colocó concreto, pero no deberá cubrir a las rocas a más de la mitad, esto servirá para recibir el muro de tapial esta última capa es de 30 cm.

Posterior a su secado se retiró la cimbra, figura 18.



Figura 18. Integración de la berca de cimentación. Fuente: Elaboración propia.

Fase 4: Ajuste de polines en la placa base

a) Ajuste de polines

El ajuste de columnas consiste en rebajar la parte superior e inferior del polín a una distancia longitudinal de 10cm, dejando 1cm para que encaje justo en la placa previamente precolado en la cimentación

Estos polines se deben curar con aceite para no tener alguna penetración de humedad.

Una vez que se secaron los polines, se colocaran sobre las bases anteriormente colocadas.

Los polines se ponen a nivel con plomo y se les coloca cemento en la placa base y se deja secar figura 19.



Figura 19. Ajuste de polines en la palca base. Fuente: Elaboración propia.

b) Herramientas para cimbra de tapial

La cimbra de tapial comprende elementos de madera prefabricados.

La cimbra delimitará ancho y alto del tapial.

Se utilizaron tensores para evitar que se abra la cimbra, para este caso se ocuparon varillas con cuerda estándar de 2 o 3 pulgadas a la cual se le ha añadido en su parte inferior un tope y una tuerca de manivela figura 20.



Figura 20. Armado de tensores. Fuente: Elaboración propia.

c) Armado de cajón con cimbra para tapial

Procederemos a armar nuestro cajón de tapial poniendo las caras laterales, así como la frontal y posterior que delimitarán el largo de nuestro tapial.

Poner a plomo la cara exterior y la cara interior de nuestra cimbra, figura 21.



Figura 21. Colocación de cimbra para tapial. Fuente: Elaboración propia.

d) Colocación de tensores para la cimbra

Se coloca la varilla corrugada con una tuerca de manivela, para lograr este plomo y este a nivel.

Se tiene que ir nivelando de manera manual conforme lo vaya a requiriendo al momento de colocar los tensores figura 22.



Figura 22. Colocación y nivelación de los tensores. Fuente: Elaboración propia.

Fase 5: Tapial

a) Selección y preparado de tierra para tapial

La tierra de tapial debe ser tierra no vegetal, en este caso se utilizó tepetate.

Se debe extraer debajo de los 30 centímetros del nivel del suelo esto con la finalidad de remover maleza, vegetación, raíces y materia orgánica.

Procederemos a humedecer la tierra a la intemperie durante 5 días al menos previamente a su utilización.

Hay que deshacer las rocas de tierras y cernirla.

Se le agrego una parte de cemento por cinco de tierra debido a lo arcilloso del tepetate.

Para alcanzar la humedad correcta de la tierra, se toma con nuestro puño un poco de tierra y se hace presión con ella, la tierra deberá de mantenerse compactada y conservar la forma que ha adquirido.

La tierra no debe sentirse húmeda a tal punto de ser como plastilina figura 23 y 24.



Figura 23. Limpieza de la tierra para el tapial. Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Prueba de adherencia de la tierra. Fuente: Elaboración propia.

b) Colocación de cepa para tapial.

Se verterá tierra sobre la brenca en alrededor de 10 cm.

Se comenzará a extender la tierra sobre nuestro cajón de cimentación a tal punto de que sea homogénea.

Dejando una primera capa de 8 cm de tierra compactada para la siguiente etapa del tapial, figura 25.



Figura 25. Colocación de la primera capa de tierra. Fuente: Elaboración propia.

c) Compactación de tierra

Ahora sigue el proceso de vaciado y compactación de tierra, con nuestro pisón procederemos a realizarla apoyándonos de nuestros pies; con capas de 8 a 10 cm, traslapándolas de manera longitudinal y transversal

Por cada capa se deberá pisonear bien ya que esto ayudará a que el tapial no se desprenda; por lo que deberá quedar tan duro como una roca.

Se colocó unicel entre los polines para evitar cualquier tipo de afectación por la humedad de la tierra figura 26.



Figura 26. Vertido y apisonado de tierra para el tapial; así mismo el recubrimiento del polín con unicel. Fuente: Elaboración propia.

d) Retiro de cimbra del tapial

Se procede a retirar los tirantes que sirvieron para que la cimbra no se abra, es importante hacerlo con mucho cuidado, dado que se puede desboronar el tapial.

Una vez al llegar a nuestro primer codal podemos retirarlo de tal manera que éste no quede ahogado en nuestro muro.

Se tiene que repetir el proceso en cada uno de los lados correspondientes del tapial.

Como se cimbró en dos secciones, en cuanto se tenga el llenado total de la primera (cimbra inferior), se procederá a su retiro.

Una vez que se tenga toda la cimbra retirada se procederá a armar la segunda parte del tapial (cimbra superior); así hasta terminar las 4 esquinas del local, figura 27.



Figura 27. Retiro de cimbra inferior. Fuente: Elaboración propia.

Fase 6: Bajareque

a) Bastidor o estructura base

El bastidor se realizará con barrotes de madera de pino. (esto según sea la medida).

Para el bastidor se requiere cortar 2 piezas con una longitud igual para formar un rectángulo, de igual manera otras dos de tamaño menor según sea el caso del bastidor.

Por último, se cortarán otras 2 piezas más que serán los refuerzos, que a su vez servirán para el entramado de carrizos.

El bastidor quedará fijado en el polín base, por tal motivo se buscará que sea menor su ancho que el polín para su mejor ajuste.

La medida del bastidor dependerá del tramo del tapial, figura 28.



Figura 28. Armado de bastidor para bajareque. Fuente: Elaboración propia.

b) Entramado de bastidores

A los bastidores se le agregará un entretejido de carrizo. Las piezas de carrizo que se empleen deben tener un diámetro entre 1.5cm y 3cm de grosor, y de largo 2.50m al menos.

Los carrizos que se ocupen, al ser extraídos del sitio deben ser cortados desde la parte de los nodos.

Limpiar cada pieza de carrizo de sus hojas y ramas, debido a que obstaculizaran su colocación y la adherencia de la mezcla de tierra.

Se van entrelazando los carrizos en el bastidor entre las molduras cuadradas, pasándolos de lado opuesto cada vez que llegue a una moldura diferente, produciendo el efecto de un trenzado.

Cada nuevo carrizo que se agregue en el bastidor deberá ir en sentido contrario al que anterior, figura 29. Fuente: Elaboración propia.



Figura 29. Entrelazado de carrizos. Fuente: Elaboración propia.

c) Preparación de la mezcla de mortero para rellenar los muros de bajareque

Para la realización del bajareque se empleará la tierra que se obtuvo de la excavación, la tierra requiere ser de abajo del horizonte "O".

La mezcla base para el bajareque requiere de un mortero de tierra-paja proporción 5:1, por cada 5 botes de tierra se añade 1 de paja, para un módulo de muro se usa alrededor de 0.20 metros cúbicos de tierra.

Se mezclará hasta que la tierra halla tomado una consistencia chiclosa y homogénea con la paja.

Para revolver la mezcla se recomienda el uso de una pala para la primera mitad del mezclado.

Cuando la tierra se vuelve muy chiclosa, se sugiere revolverá con los pies, figura 30.



Figura 30. Preparado de mezcla de tierra con paja para el bajareque. Fuente: Elaboración propia.

d) Colocación de instalación eléctrica

La colocación de la instalación deberá ser antes del llenado, esto evitará que la estructura reciba daños en su colocación, además de que es más fácil de colocar la tierra cuando esté ya en sitio.

Colocar una chalupa a una altura de 1.20m, la cual se atornilla a los carrizos en la parte posterior y se le insertó polducto corrugado de $\frac{3}{4}$ " \varnothing el cual sube por el bajareque.

Se podrán colocar cuantas chalupas sean necesarias, figura 31.



Figura 31. Inserción de instalación eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

e) Rellenado de muro de bajareque

Se realizarán bolas de tierra del tamaño de un puño y se lanzarán al módulo con la suficiente fuerza para que la tierra pase entre los huecos.

Modelar con las manos la tierra para verificar que la tierra entre bien en los huecos para distribuir montones de barro que se hacen al lanzar la tierra.

Colocar la mezcla desde la parte baja del bajareque, hasta la parte superior de forma ordenada y pareja.

Una vez cubiertas ambas caras tanto interior como exterior de nuestro muro de bajareque; se remueve el excedente con una regla de aluminio o de madera frotándola sobre la superficie.

Dejar secar el muro por al menos 48 horas para poder colocar el primer aplanado, figura 32.



Figura 32. Integración de mezcla en el entramado para el bajareque. Fuente: Elaboración propia.

f) Aplanado fino del bajareque

El aplanado tiene la función de nivelar el muro y alisarlo para cubrir las imperfecciones originadas por el relleno base; así como protegerlo de la humedad o del calor intenso.

Para iniciar, se humedece la superficie del muro de tierra para que ambos materiales tengan mejor adherencia.

Con una llana de madera, se aplicará el mortero de forma ascendente aplicando una cantidad moderada de fuerza.

Dejar secar al menos 2 horas y aplicar otra capa más de tierra, la cual deberá tener un grosor máximo de 1cm; dejar secar otras 2 horas.

Para el aplanado fino del bajareque se tendrá que ocupar tierra colada más fina que la que se ocupó para su llenado; con una llana de madera, se humedece con agua y aplicando una moderada cantidad de fuerza sobre la superficie del muro de forma ascendente produciendo que la superficie se alise.

Se repetirá hasta que quede liso.

Al final aplicar el mismo sellador que para el tapial 5x1 de comex figura 33.



Figura 33. Aplanado fino del bajareque. Fuente: Elaboración propia.

Fase 7: Acabado de Tapial

a) Pruebas de aplanado de tapial

Para el aplanado del tapial se realizaron cinco pruebas, cada una de ellas para ver la confiabilidad. Las cantidades son las siguientes para cada prueba:

- 1) 1 pala de cemento, 1 de pala de granzón 1 pala de arena.
- 2) 1 pala de granzón y 1 pala de cemento.
- 3) 1 pala de granzón ,1 pala de cemento y 1 pala de cal.
- 4) 1 pala de arena,1 pala de cemento y 1 pala de cal y se le coloco malla de gallinero en la parte de inferior del tapial.
- 5) 1 pala de cemento y 1 de cal y también se le coloco la malla de gallinero.

En todos los casos, se dejaron secar por 24 horas y se demostró que el más óptimo para el aplanado fue el granzón con cemento, figura 34.



Figura 34. Pruebas para el aplanado del tapial. Fuente: Elaboración propia.

b) Aplanado de tapial

Para el acabado final del tapial, hay que tomar en cuenta que es tierra comprimida y que tiene deslavé, por lo cual se aplicó un sellador 5x1 para su adherencia. Después de poner el sellador se procedió a integrarle el nivel de donde partirá el mayor desgaste del tapial con el tiempo, que únicamente será por la parte de afuera, figura 35.



Figura 35. Aplanado del tapial. Fuente: Elaboración propia.

Fase 8: Cubierta

La cubierta se realizó a través de una estructura de vigas primarias y secundarias.

Se colocaron las vigas primarias, en los huecos realizados en las gualdras para posterior fijarlas por medio de tuercas.

Los montenes fueron soldados para obtener una longitud de seis metros.

Hacer desnivel para la lluvia y el granizo que fue con una pendiente de 6%.

Se utilizaron 6 láminas de 6 por 1.10 mts. las cuales se colocaron sobre los montenes.

Se fijarán debidamente con pijas los orificios que quedan; se tendrán que resanar con silicón para evitar que el agua entre, figura 36.



Figura 36. Integración de cubierta de láminas. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS



Figura 37. Integración de cubierta de láminas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 38. Integración de cubierta de láminas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 39. Integración de cubierta de láminas. Fuente: Elaboración propia.

El proyecto se inició en 2018, en una primera fase, se inició con la recopilación de información teórica-metodología, en una segunda fase se realizaron las propuestas de diseño, en una tercera fase se realizaron pruebas para la construcción del tapial y bajareque, en una cuarta fase se culminó con el diseño, en una quinta fase se investigó sobre la factibilidad de dicho proyecto, en una sexta fase que es la que se presentó, fue la construcción de dicho proyecto.

Si bien no se realizó la vivienda en su totalidad, por diversos factores, principalmente por falta de recursos y apoyos, si se realizó un local, en el cual se pudo comprobar las hipótesis planteadas desde un inicio, es decir, que es factible la autoconstrucción de una vivienda vernácula modulada, que sea de bajo costo y hermética y de bajo impacto ambiental tabla 10 aspectos que se pudieron comprobar con este módulo en funcionamiento.

Tabla III. Tabla comparativa de precios/emisiones de CO₂ y tiempo de construcción.

	Costo m ²	Costo 75.9m ²	Emisión de CO ₂ por Kg de material	Tiempo de construcción
Casa Tradicional	\$8,553.73	\$649,228.11	42245.05 Kg de CO ₂	20 sem.
Casa Vernácula	\$5,394.76	\$409,462.14	629.93 Kg de CO ₂	16 sem.
Diferencia de precio/emisiones/tiempo	\$3,158.97	\$239,765.97	41615.12 Kg de CO ₂	4 sem.

Este módulo, está preparado para soportar un nivel más, gracias al diseño estructural que se planteó de esquinar con tapiales

El modulo mide 5x5 m de paño exterior a paño exterior de tapial, al interior mide 3.8m de paño interior paño interior del tapial, se utilizaron siete bajareques de un metro por 1.4m.

La construcción se realizó en 3 meses, sin embargo, el último mes se avanzó más rápido porque se unieron mas personas para la construcción, evidenciando que si es factible que los mismos usuarios puedan realizar este tipo de construcciones.

Por último, y no menos importante, el impacto ambiental de este tipo de construcciones es considerablemente menor al de una vivienda realizada con construcciones a base de block y cemento, cómo se mostro en la tabla III, poniendo en consideración la aplicación de este tipo de sistemas constructivos.

CONCLUSIONES

La importancia de incentivar la construcción de viviendas hechas con sistemas y materiales vernáculos no es por razones únicamente tradicionales, culturales; sino también por el bajo impacto ambiental, por lo económico de la construcción, y construir con una eficacia funcional y estética mejor si se realiza bajo el respaldo de un diseño.

No se trata de conservar formas tradicionales de construcción vernácula por sí mismas, sino entender porque antes funcionaron y porque se deben retomar e incluso mejorar para cubrir las necesidades actuales, buscando en todo momento el cuidado del medio ambiente, cubrir la necesidad de una vivienda digna y proteger los recursos económicos de las personas de las zonas marginadas del Valle del Mezquital, Hidalgo.

Referencias

- [1] CONEVAL (2015). *Pobreza municipal 2015, Hidalgo*. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Hidalgo/Paginas/pobreza_municipal2015.aspx. Accesado: 15 mayo 2020
- [2] Neria Hernández, R., Pérez Herrera, L., & Rodríguez Ruiz, J. (Septiembre de 2017). Análisis de la vulnerabilidad del entorno del Municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hgo. *Revista de Arquitectura y Diseño*, 1, 20-30.
- [3] Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. (1999). *Carta de Patrimonio Vernáculo Construido*. Madrid. Ratificada en México: ICOMOS.
- [4] Bernal, Ignacio. (1984). Tenochtitlán en una isla. México D.F. SEP.
- [5] (2018). La construcción genera más del 50% de los contaminantes en el mundo. Digital Bricks recuperado de: <https://digitalbricks.com.mx/2018/08/01/la-construccion-genera-mas-del-50-de-los-contaminantes-en-el-mundo/s>
- [6] Centro de Investigación y documentación de la Casa (CIDOC). Sociedad hipotecaria federal (SHF). 2012. Estado actual de la vivienda en México 2012. México DF CIDOC, SHF.
- [7] González, J. T. (2017). La arquitectura sin arquitectos, algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula. AUS (Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad). doi:10.4206/aus.2010.n8-04
- [8] Romero Navarrete, L., Hernández Rodríguez, M., & Acevedo Dávila, J. (2005). *Vivienda y autoconstrucción: Participación femenina en un proyecto asistido*. Frontera norte, 17(33), 107-131.
- [9] Gatti, Fabio. *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra*. Tesis. 2012. Barcelona, España.
- [10] UNE-Norma Española. Ediyada e impresa por AENOR, Deposito legal:M7149:2006
- [11] Linares González, J., Huertas García, F., & Capel Martínez, J. (1983). La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. Cuadernos De Prehistoria y Arqueología De La Universidad De Granada. Disponible en: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/view/122>
- [12] Gisbert Blanquer, J.M, Ibáñez Asensio S., Moreno Ramón, H. (2010). La textura del suelo.
- [13] Bautista, Francisco, Palma López David, Huchin Malta Wendy. (2005). Actualización de la clasificación de los suelos del Estado de Yucatán, en *Caracterización y Manejo de los suelos de la Península de Yucatán, Implicaciones Agropecuarias, Forestales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán.
- [14] Aedo, W. C. (2002). *Adobe: Guía de construcción parasísmica*. Misereor.