

Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bajareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda

Design of a self-building system based on low-cost ramparts and bajareque with minimal environmental impact of a home

Jorge L. Rodríguez-Ruiz, Cintia G. Castañeda-Hernández, Rubén Cruz-López, Rogelio Neria-Hernández

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo. División de Arquitectura.
Paseo del Agrarismo 2000. Carr. Mixquiahuala - Tula, km 2.5 Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, C.P. 42700

Abstract:

In Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, the 90% of the inhabitants have houses that the same family built (in very few cases they received help by a construction professional). If we add to this that, more than a half live with two minimum wages or less, we find that these buildings can have structural flaws, as well as inadequate spaces and problems of regulations and management. This can be solved with guides or self-construction manuals that allow people to build, adapting to their possibilities; if to this are added advantages of the use of vernacular systems, the house will be sustainable. Based on this, in the present work a vernacular self-constructive system is developed in four phases, which seeks to become an aid for families to build a decent home.

Keywords:

Self-construction system, Vernacular housing, Sustainable, Earth architecture, Energy expenditure

Resumen:

En Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, el 90% de sus habitantes tienen casas que la misma familia construyó (en muy pocos casos están acompañadas por algún profesional de la construcción). Si a esto agregamos que más de la mitad vive con dos salarios mínimos o menos, encontramos que esas edificaciones pueden tener fallas estructurales, así como espacios inadecuados y problemas de normatividad y de gestión. Esto puede solucionarse con guías o manuales de autoconstrucción que permitan a las personas edificar, adaptándose a sus posibilidades; si a ello se agregan ventajas del uso de sistemas vernáculos, la vivienda será sustentable. Con base en esto, en el presente trabajo se desarrolla un sistema autoconstructivo vernáculo en cuatro fases, que busca convertirse en coadyuvante de las familias para construir una vivienda digna.

Palabras Clave:

Sistema autoconstructivo, Vivienda vernácula, Sustentable, Arquitectura de tierra, Gasto energético.

1. Introducción

Con el aumento de la población se da un incremento en la necesidad y construcción de viviendas, un ejemplo es lo que sucede en el Municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, donde en la encuesta del Instituto Nacional de Estadística y

Geografía (INEGI) en 2010 pasó de tener 35,200 habitantes en 1995 a 42,834 habitantes en 2010 lo que implica un incremento de la población del 21% en tan sólo 15 años [1].

En cuanto a la construcción de viviendas 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

Autor para la correspondencia: jlrr_82@hotmail.com

Correos electrónicos: jlrr_82@hotmail.com (J. L. Rodríguez-Ruiz), cgch1997@hotmail.com (C. G. Castañeda-Hernández), cruzruben910@gmail.com (R. Cruz-López), neria@itsoeh.edu.mx (R. Neria-Hernández)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4313-5346> (J. L. Rodríguez-Ruiz), <https://orcid.org/0000-0002-2512-4822> (C. G. Castañeda-Hernández), <https://orcid.org/0000-0002-3572-790X> (R. Cruz-López), <https://orcid.org/0000-0003-0675-0243> (R. Neria-Hernández).

Fecha de recepción: 01/07/2020, Fecha de aceptación: 13/09/2020, Fecha de publicación: 05/10/2020

<https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6207>



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.

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 [3]. En encuestas realizadas en algunas zonas marginadas de Mixquiahuala, arrojan que el 100% de las personas 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.

La falta de conocimiento sobre los sistemas vernáculos trae consigo una clara pérdida de la cultura y tradiciones mexicanas; en donde la carta del patrimonio vernáculo construido, ratificada por la 12^a Asamblea General en México de ICOMOS en octubre de 1999 [4], 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” [5].

Con base en lo anterior; el presente trabajo pretende describir el proceso de elaboración de un sistema constructivo vernáculo a base 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; por lo cual se vuelve necesario la realización de proyectos sustentables que ayuden a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

La propuesta del sistema autoconstructivo a base de tapial y bajareque de bajo costo 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 cuatro fases que corresponden a los cuatro elementos que conforman el sistema constructivo: cimentación, tapial, bajareque y entrepiso.

Es importante aclarar que aquí no se muestra el manual para la construcción del sistema autoconstructivo, sino el procedimiento teórico-experimental que permitió su realización.

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 [7] describe que 6 de cada 10 viviendas son construidas con estas características.

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.

Para 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.

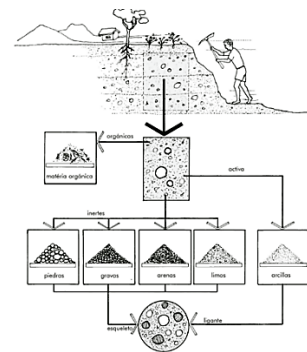


Figura 1. División de los estratos y sus características. Fuente: Estudio Comparativo de los Materiales, Productos y Técnicas Contemporáneas en Tierra. Arq. Fabio Gatti.

La Norma UNE 103204:1993 [10] 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 [11].

En el caso específico de Mixquiahuala, y de acuerdo a la carta edafológica F14C89 del INEGI [1], el suelo que reúne las dos características antes mencionadas, Leptosol, que en esta carta se representa como Litosol, este suelo al igual que las Rendzinas y Rankers, se asociaron en el grupo de los leptosoles, de acuerdo a la publicación que en 1998, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), realizado con la Leyenda Revisada del Mapa Mundial de Suelos del Mundo [12].

En este sentido, los Leptosoles son suelos someros que presentan afloramientos de roca basáltico-andesítica en la mayor parte de la superficie [12], esto coincide con la carta edafológica F14C89 del INEGI [1], además de la carta geológico-minera F-14-C89 del Servicio Geológico Mexicano [13], donde se encuentran este tipo de suelo y rocas, principalmente en los lomeríos y falderas del norte del municipio, específicamente en los cerros del Elefante y de Deganthza [13]. Los leptosoles, como los de Mixquiahuala son relativamente secos, ya que el abastecimiento de agua, depende básicamente de la precipitación [12], en este caso, como los suelos se encuentran en lomeríos y laderas, por encima de los canales de riego propios de esta región agrícola, están exentos de las aguas negras que llevan sales solubles, además de otros contaminantes [14].

Por otra parte, dado que la formación del suelo se encuentra en su fase inicial, aun no se ha acumulado materia orgánica y la disponibilidad de nutrimentos está limitada al aporte atmosférico y a la disolución de minerales contenidos en la roca [12], por lo que, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 [15], la cantidad de materia orgánica de estos suelos está en el rango bajo, de 0.6-1.5% [16], que concuerda con la Norma UNE 103204:1993.

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 encuentran illita, montmorillonita, clorita, caolinita e interstratificados; y algunos minerales gruesos como el cuarzo, feldspatos (alcalinos y plagioclasas), carbonatos (calcita y dolomita), yeso y óxidos de hierro. [17]. 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, [17]. 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 [18]. 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 están 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 [12].

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) [15], 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

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.

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 [15].

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 constructivo	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

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. Sí 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 sí 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 churro resultantes.

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

Si se requiere hacer un tapial y el churro se cortó a los 5 cm, figura 6, se necesita agregar más arena, la tierra del churro 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 churro

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 una casa de 75 m².

Cimentación

Etapas 1: Cimentación ciclópea

Tras la excavación de las zanjas para la cimentación se debe colocar 10 cm, mínimo 5 cm, de concreto simple sobre la capa de material selecto ya compactado, figura 7.

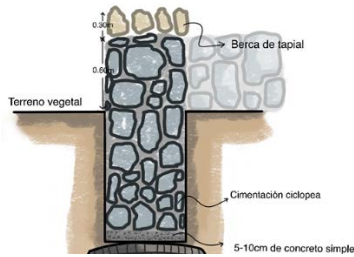


Figura 7. Imagen de la cimentación

Después colocar la capa de concreto simple, se implantarán piedras al foso de la zanja de cimentación, éstas deben humedecerse junto con las paredes de la zanja para que no le quite humedad al concreto, es muy importante dejar espacio entre las piedras de al menos 5 cm.

Se aconseja usar vibrador o una varilla de longitud de un metro para no dejar espacios vacíos entre el concreto. Tras llegar a la superficie de nuestra zanja de cimentación se debe enrasar con una regla de madera o de aluminio, en este punto no es muy necesario dejarlo a nivel puesto que continuaremos la cimentación 30 cm sobre el nivel de nuestro terreno vegetal.

Al llegar al nivel del terreno vegetal procederemos a colocar una cimbra perimetral a la cimentación para continuar con el vaciado del concreto ciclópeo, esta cimbra ayudará para continuar los 30 cm faltantes.

Se coloca el concreto ciclópeo en capas, agregando concreto y piedra tras haber llegado a la superficie de 30 cm sobre el nivel de terreno vegetal, antes de enrasar nuestra cimentación, procederemos a poner la placa base de acero, figura 8, que servirá para ubicar los polines que fungirán como columnas estructurales, esta placa base irá precolada y nivelada de manera manual.



Figura 8. Imagen del anclaje para gualdras

En las esquinas principales del proyecto donde recibirá el muro de tapial deberá crecer una sobrecimentación de 90 cm por encima del nivel de jardín la cual seguirá el mismo procedimiento de la cimentación ciclópea apoyada de una cimbra de madera para alcanzar los 90 cm requeridos.

La forma correcta de nivelar y colocar esta placa de acero será dejando un hueco en el eje de la cimentación, la cual recibirá la placa junto con los anclajes, este hueco tendrá una profundidad de 20 cm, y será rellenado con concreto.

Etapa 3: Berca de tapial de cimentación

Dentro de los 90 cm en la capa superior del sobrecimiento ciclópeo se agrega un tipo de cimentación similar a la ya

utilizada anteriormente, pero está tendrá una separación entre piedra y piedra más distante, al menos 20 cm, y el concreto que será vertido no deberá cubrir a las rocas a más de la mitad, esto servirá para recibir el muro de tapial. A esta última capa de 30 cm se le llama berca la cual es un tipo de cimentación superficial que permitirá la unión del muro tapial.

Bajareque

Etapa 1: Armado de muro de bajareque

Para formar los módulos de bajareque se requiere de un bastidor de igual medida para todas las piezas necesarias. Para hacer los módulos se empleará madera de pino por su calidad de resistencia y su precio.

El bastidor se realizará con barrotes de madera de pino de 1½" x 3" x 10' (0.381m x 7.62m x 3.048m). En el caso de que la madera llegue pandeada se recurrirá a un sistema de enderezado.

Para el bastidor se requiere cortar dos barrotes con una longitud de 0.989m y dos con una longitud de 2.50 m.

Los dos barrotes de 2.50m irán de forma vertical y los dos barrotes de 0.989 m se colocarán horizontalmente entre los barrotes verticales, de manera que se oriente el lado más ancho (3") hacia el interior del módulo y el más delgado (1½") hacia la cara del bastidor.

La colocación de divisiones y refuerzos en el módulo será tomando las dos piezas de la moldura unidas a los barrotes del bastidor del lado interno, empleando una pija al centro y una en cada extremo de la moldura, dando en total 3 pijas por moldura, figura 9.

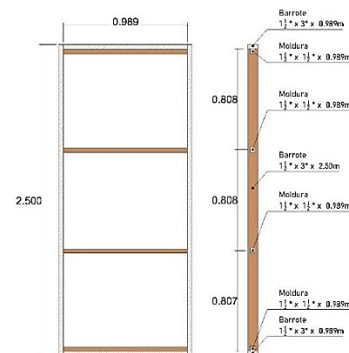


Figura 9. Imagen del módulo tipo

Etapa 2. Entramado de los bastidores

A los bastidores se le agregará un entramado de carrizo. Las piezas de carrizo que se empleen deben tener un diámetro entre 1.5 cm y 2 cm de grosor, y de largo 2.50m al menos.

Para colocar los carrizos en el bastidor se van entrelazando en el bastidor entre las molduras, produciendo el efecto de un trenzado. Las molduras que están en las bases de los bastidores o al final de la zona de entramado sirven como área para retener los carrizos y así lograr que se tense correctamente, dejando los huecos en cada entrelazado.

Cuando los carrizos se vayan ingresando en el bastidor, tendrán un largo mayor a la necesitada en el bastidor, para ello, se recortará el sobrante, figura 10.

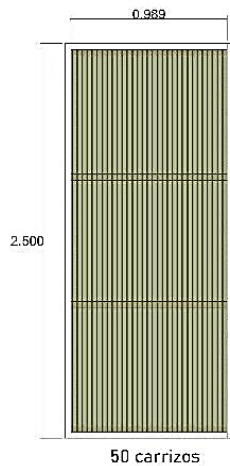


Figura 10. Imagen de la distribución carrizos

Posteriormente se pintarán las piezas de madera con aceite quemado o aceite virgen, como un tratamiento a la madera para evitar daños por humedad. Realizado esto se dejará secar el bastidor con el carrizo al menos dos días, figura 11, en un área ventilada sin contacto directo del sol.



Figura 11. Vista del entramado de carrizo

Finalmente, el módulo de bajareque se colocará entre los espacios creados entre los polines, atornillando con pijas del #8 de 2 1/2", las cuales se colocarán a cada 40cm de ambos lados del bastidor.

Etapa 3. Preparación de la mezcla de mortero para rellenar los módulos de bajareque

Para la realización del relleno, la paja tiene que estar totalmente seca y ser cortada de forma delgada. La tierra en conjunto con la paja debe hidratarse de forma constante con una manguera evitando hacer un "volcán" con la mezcla, este proceso se realiza hasta que la tierra haya tomado una consistencia chiclosa y homogénea con la paja.

La colocación del relleno se realizará iniciando desde la parte baja del 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. De vez en cuando se debe modelar con las manos la tierra para verificar que la tierra entre

en los huecos o para distribuir los montones de barro que se hagan.

Posteriormente, se dejará secar el muro por al menos 48 horas para poder colocar el primer aplanado. La mezcla para el aplanado es tierra-cabello en proporción 10:1, por cada 10 botes de tierra se usará cabello. Este primer aplanado tiene la función de nivelar el muro y alisarlo para cubrir las imperfecciones originadas por el relleno base y tendrá un grosor de aproximadamente tres cm, figura 12.



Figura 12. Proceso de preparación y colocación del mortero para los muros de bajareque

Antes de colocar el aplanado, se debe humedecer la superficie del muro de tierra para que ambos materiales tengan mayor adherencia. Cuando se termine de aplicar el aplanado se dejará secar al menos dos horas para poder aplicar otra capa de aplanado, la cual deberá tener un grosor máximo de 1cm y se dejará secar otras dos horas.

Análisis comparativo de precios unitarios y emisión de CO₂ entre el sistema con base en block y cemento en comparación con el sistema vernáculo mixto

En las tablas que se presentan a continuación se exponen el análisis de precios unitarios con base en lo que plantea Bargas [16] del bajareque y del tapial; así mismo, como parte de los resultados se expondrá un análisis comparativo con ambos tipos de sistemas aplicados a una vivienda de 75m².

En esas mismas tablas, se expone el análisis comparativo de los materiales a utilizar y el gasto energético (CO₂) durante el proceso de extracción, transformación, traslado y montaje de materiales industrializados y vernáculos, estos datos se basan en las tablas realizadas por Argüello Méndez [17] en las cuales realiza un análisis comparativo del gasto energético de distintos materiales para la edificación de viviendas.

En la tabla III se muestra el costo del material para realizar un m² de bajareque y la emisión de CO₂ que tendría para la realización de la vivienda de 75m²

Tabla III: Bajareque m²

Material	U.	Cant.	P.U.	Importe	Emisión de CO ₂ por kg de materia (vivienda de 75m ²)
Barrotes	pza	2	\$38.00	\$76.00	.54
Molduras	pza	2	\$35.00	\$70.00	.18
Pijas	pza	22	\$0.35	\$7.70	0.0028
Carrizos	pza	50	\$1.00	\$50.00	0.00
Gualdras	pza	1	\$450.00	\$450.00	15
Tierra	m3	0.3	\$228.60	\$68.58	.021
Paja	kg	3	\$11.11	\$33.33	0.00
Arena	m ³	0.015	\$246.42	\$3.70	0.416
Agua	L	80	\$0.28	\$22.08	0.00
Total				\$781.39	

En la tabla IV se muestra el costo del material para realizar un módulo de Bajareque.

Tabla IV: Módulo de Bajareque

Alto	Ancho	m ²	Precio
2.50m	0.91m	2.28	\$2,558.06
1.00m	1.00m	1.00	\$1,124.42

Tapial

Etapa 1. Cimbra para tapial

La cimbra para tapial comprende cuatro elementos laterales prefabricados, (recordando que es un tapial en forma de L) que serán la cara interior y exterior de nuestro tapial delimitando el ancho del muro y dos elementos frontales que delimitarán su largo. Estos tableros se mantienen unidos mediante seis elementos a forma de estaca (Costeros) que sirven para la unión de nuestra cimbra de tapial.

Se hará uso también de seis varillas con cuerda estándar de dos o tres pulgadas a la cual se le ha añadido en su parte inferior un tope y una tuerca de manivela y sirve para mantener presión en nuestra cimbra de tapial y de dos agujas que son elementos metálicos en forma de T que facilitan la colocación de la cimbra. La manivela de este elemento estará conformada por una tuerca

de dos a tres pulgadas, a la cual se le ha soldado una manivela de alambón o varilla para que sea más fácil su uso.

Etapa 2. Colocación de cimbra para tapial en cimentación

Se deben colocar agujas metálicas sobre la cimentación o brenca de cimentación, que servirán como soporte al cajón de cimbra figura 13, para esto es recomendable realizar surcos transversales a nuestra cimentación donde estén alojadas, para poder retirar las agujas con facilidad cuando se requiera.

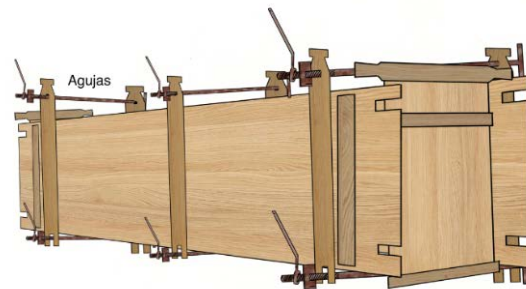


Figura 13. Imagen de la cimbra del tapial. Fuente: Elaboración propia.

Procederemos a armar el cajón, poniendo las caras laterales, así como la frontal y posterior, las varillas corrugadas nos servirán de apoyo sobre la brenca de cimentación, en el caso de que nuestra brenca estorbe la colocación de nuestro cajón de tapial debemos remover el excedente con una cortadora mecánica o cincel.

Una vez puesto el cajón sobre nuestra brenca debemos poner a plomo las caras exteriores e interiores de nuestro tapial, apoyándonos de la varilla corrugada con una tuerca de manivela, e irlo nivelando de manera manual conforme lo vaya a requiriendo.

Previo a verter la tierra para el muro de tapial procederemos a colocar una amalgama de mezcla de tierra similar a la de los muros de bajareque con excepción de que esta mezcla no lleva paja, se verterá hasta casi cubrir nuestra brenca de cimentación para posterior verter la tierra.

Etapa 3. Preparación de tierra para tapial

La preparación de la tierra para tapial es extraída del terreno y debe humedecerse a la intemperie durante al menos cinco días previos.

Una forma muy simple de alcanzar la humedad ideal para la tierra, es tomar con nuestro puño un poco de tierra y hacer presión con ella, la tierra deberá de mantenerse compactada y conservar la forma que ha adquirido al momento de apretar, no debe deformarse ni desmoronarse, no debe sentirse húmeda a tal punto de ser como plastilina, chiclosa y tampoco debe sentirse seca a tal punto de darle presión y no pueda ser amasada y se desmorone.

Etapa 4. Colocación y llenado de cimbra

Una vez teniendo nuestra cimbra montada sobre nuestra brenca vertemos la tierra en capas de 8 a 10 centímetros, y extendemos

sobre nuestro cajón de cimentación hasta que sea homogénea figura 14.

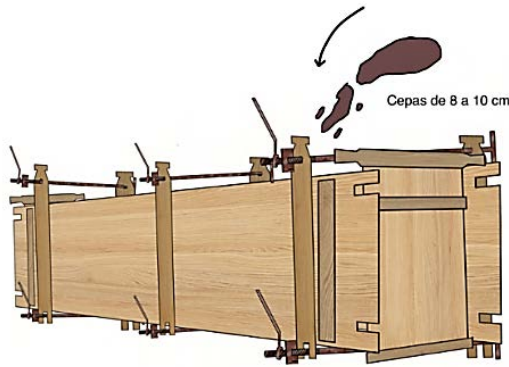


Figura 14. Imagen del agregado de la tierra a la cimbra de tapial.

Entre cada cepa de 8 a 10 cm se procederá a colocar una costra posterior a nuestra primera cepa, esta costra consiste en una mezcla de arena, cal y tierra, con un 5 y 10% de cal, figura 15.

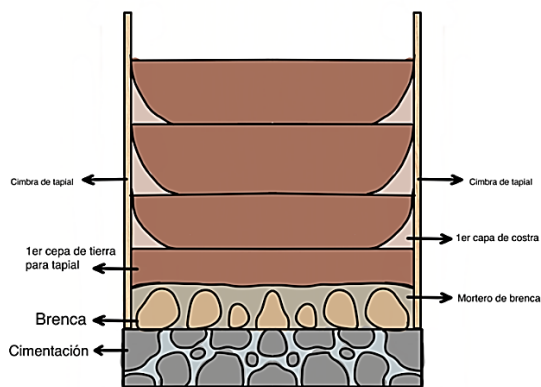


Figura 15. Imagen del detalle de las capas del tapial.

Posteriormente, se procederá a colocar la cepa de tierra para tapial, ahora ya está listo para ser compactado, de esta forma la costra y la tierra para tapial quedarán unidas uniformemente. Este proceso deberá repetirse las veces necesarias para llegar a la altura que nos permita la cimbra.

Tras alcanzar la altura máxima procederemos a retirar la cimbra, iniciando opuestamente a su armado, empezando por retirar las estacas, las varillas con manivela, después retiraremos las caras frontera y posteriormente los codales para después retirar las caras interiores y exteriores del muro, por último, se van a retirar las agujas las cuales sostienen nuestra cimbra de tapial.

Ahora procederemos a verter agua, aproximadamente un litro por metro cuadrado, esto ayudará a tener una mejor adherencia entre nuestras hiladas, además de que esto reduce la producción de grietas.

En la tabla V se muestra el costo del material para realizar un m³ de tapial y la emisión de CO₂ que tendría por la realización de la vivienda de 75m²

Tabla V: Tapial 1m³

Concepto	U.	Cant	P.U. \$	Importe	Emisión de CO ₂ por kg de materia
Placa de triplay de 1.22m x 2.44m x 200mm	Pza	3	\$359	\$1,077	1.08
Polines de madera de segunda de 3"x3"	Pza	4	\$88	\$352	0.72
Solera de acero de bajo carbón A-36 1x2x600cm-MXSILL-200	Pza	5	\$64.77	\$323.85	7.00
Caja de tornillos para tabla roca de 2", negro 0.002Kg con 50pzas	Pza	2	\$50.50	\$101.00	2.80
Moldura de madera cuadrada 243x2cm Beige para pison de tapial	Pza	1	\$39.00	\$39.00	0.18
1 varilla corrugada para manija y detalles de 12m	Pza	1	\$180.00	\$180.00	14.00
Tuerca de acero de 2" para manija	Pza	12	\$30.00	\$360.00	0.0028
70% de Tierra arcillosa	m ³	0.70	\$228.60	\$159.92	4.90
Arena 20%	m ³	0.20	\$246.42	\$49.22	0.048
Cal 10%	Bultos	5.58	\$70.00	\$390.79	2.287
Total				\$3,032.79	

Entrepiso

Etapas 1. Envigado

El entrepiso será realizado a través de una estructura de vigas primarias y secundarias. Procederemos a colocar las primeras colocándolas sobre los huecos realizados en la gualdra perimetral que se fija a los tapiales.

Una vez fijadas procederemos a colocar las vigas secundarias. La colocación de las vigas será con uniones Simpson centrales a los cuadros realizados por nuestras vigas primarias, figura 16.

Ejemplo de unión Simpson tipo U fijado con pijas según Modelo de placa y tornillos de unión de 2

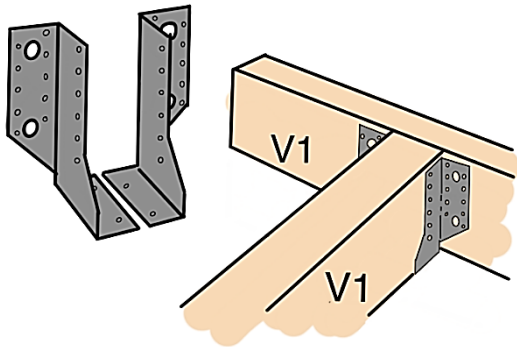


Figura 16. Imagen de las uniones Simpson.

Una vez fijadas las uniones Simpson a las vigas primarias procederemos a colocar las secundarias sobre las uniones Simpson.

Tras tener nuestras vigas primarias y secundarias ya colocadas de forma estructural procederemos al armado del cajón de entepiso. Los cajones completos están compuestos de manera muy similar a nuestros muros de bajareque formando un marco rígido con barrote de 2x3 pulgadas.

Una vez construido el bastidor procederemos a colocar la tapa inferior que consiste en una placa de madera contrachapada la cual estará unida con pijas para madera.

Tras tener ya fijado el marco rígido al contrachapado, colocaremos la placa superior del entepiso, esto lo realizaremos en la parte exterior de la vivienda, es decir fijándolo de arriba hacia abajo, de forma perimetral y por la parte central de nuestra placa de contrachapado, figura 17.

2 barrote enteros y
3 mitades de 2" x 3" .



Figura 17. Imagen del marco rígido para losa. Fuente: Elaboración propia.

Ahora podemos unir ambos marcos, el que colocamos previamente y el que estamos por colocar de manera lateral.

Tras colocar el entepiso ya puede ser recubierto por una placa de impermeabilizante, teja o algún otro material para recubrir el contrachapado figura 18.



Figura 18. Imagen de la colocación de marco rígido

En la tabla VI se demuestra el costo del material para realizar un m² del Entepiso.

Tabla VI: Entepiso 1m²

Concepto	U.	Cant.	P.U.	Importe
Placa de triplay de 1.22m x 2.44m x 200mm	Pza	2	\$359.00	\$718.00
Barrote de Pino 1½"x 3" x 10'	Pza	3.5	\$88.00	\$308.00
Pija madera avellanada de 8mm x 2 ½ "	Pza	22	\$0.35	\$7.70
Vigas de madera de pino de 8" x 2" x 14'	Pza	2	\$50.50	\$101.00
Clavos para madera de 2"	Pza	72	\$1.50	\$108.00
Unión simpson tipo I	Pza	4	\$22.00	\$88.00
Tornillos para madera avellanada de 5", negro 0.002Kg	Pza	10	\$1.50	\$15.00
Tornillos para madera avellanada de 2", negro 0.002Kg	Pza	16	\$1.00	\$16.00
Placa simpson tipo U	Pza	1	\$32.00	\$32.00
Tornillos para madera avellanada de 2", negro 0.002Kg	Pza	12	\$1.00	\$12.00
Clavos para madera de 2"	Pza	54	\$1.50	\$81.00
Total				\$1,486.70

En la tabla VII se muestra el costo del material para realizar un módulo de entepiso.

Tabla VII: Módulo de entrepiso

Alto	Ancho	m ²	Precio
2.50m	0.91m	2.28	\$1,486.70
1.00m	1.00m	1.00	\$653.49

3. Resultados y discusión

A continuación, se describen las tablas comparativas donde se exponen el costo total y el impacto al medio ambiente de ambos sistemas constructivos. En la tabla VIII se demuestra la emisión de CO₂ que tendría por la realización de la vivienda de 75m² a base de block, acero y cemento.

Tabla VIII: Emisión de CO₂ por Kg de material con el Sistema Autoconstructivo a base de Cemento, Acero y Block

	Cantidad	Emisión de CO ₂ por kg de material
Cemento Ton	7.25	502.14
Tabique piezas	14000 (98000 kg)	40180
Grava Tons	10	0.07
Arena Tons	14	0.98
Acero Kg	1337	1562
	Total de emisiones	42245.05 Kg de CO₂

En la tabla IX se demuestra la emisión de CO₂ que tendría por la realización de la vivienda de 75m² a base de block, acero y cemento.

Tabla IX: Emisión de CO₂ por Kg de material con el Sistema Autoconstructivo a base de tapial y bajareque

	Cantidad	Emisión de CO ₂ por kg de material
Tierra	3890 kg	27.23
Madera	700 kg	42
Acero/Metal	200 kg	560
Arena	100 kg	0.7
Paja	400 kg	0.00
Carrizos	1380 kg	0.00
	Total de emisiones	629.93 Kg de CO₂

En la tabla X se muestra la comparación del costo, emisiones de CO₂ y tiempo de construcción entre ambos sistemas constructivos.

Tabla X: 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 CO₂	4 sem.

Como se observa, el costo de una vivienda con el sistema autoconstructivo a base de tapial y bajareque es 33% más económico y más rápido de construir. Esto se debe principalmente a que con el diseño se buscó facilitar que tanto el tapial como el bajareque fueran sencillos de realizar, sin demeritar la estructura, el funcionamiento y lo estético. Una de las características que permitió la facilidad de la construcción de ambos elementos fue la modulación con la que se diseñaron, esto para estandarizar los métodos, las técnicas y los materiales.

También se mostró que la huella ecológica es 90% menor en el sistema autoconstructivo de bajareque y tapial en comparación con el uso del block, comento y acero.

Ahora bien, la vivienda al ser de carácter autoconstruible, el trabajo recae evidentemente en los mismos usuarios; si bien, entre más personas se integren, el tiempo de realización sería menor; sin embargo, la logística sería más compleja lo que podría entorpecer el trabajo.

Ahora bien, el sistema expuesto al ser un sistema modulado, esto lo hace de alguna forma una producción en serie, y justo por esta razón es la importancia de este sistema. Sin embargo, no es la intención hacerlo industrializado, ya que impactaría de manera negativa al medio ambiente, así como en los aspectos artesanales, culturales e identitarios.

Los sistemas constructivos a base de tierra, al ser realizadas de la manera correcta, no requieren mantenimiento, por ejemplo, la madera necesita un recubrimiento de aceite para auto, previo a su utilización, el carrizo requiere ser quemado y aceitado para evitar que absorba humedad y la tierra, en caso de ser necesario, se estabiliza con un poco de cal para poderla utilizar.

En las figuras 19 y 20, se muestran imágenes fotorealistas del interior y exterior de la vivienda con el sistema autoconstructivo a base de tapial y bajareque.



Figura 19. Imagen de la vista interior de la vivienda.



Figura 20. Imagen de la vista exterior de la vivienda

Conclusiones

Desafortunadamente aún existe cierto recelo hacia los sistemas constructivos vernáculos, ya que se creen insalubres, costosos e imprácticos, sin embargo, una combinación de sistemas constructivos, tienen muy buenos resultados como reducir gastos y disminuir el impacto ambiental y coadyuvar a incrementar la cultural social y arquitectónica de las comunidades.

Es incongruente pensar y hacer arquitectura globalizada en un país con tantas diferencias sociales, es momento de conscientizarnos y comenzar a reflexionar cuál debería ser el quehacer del arquitecto con una visión sustentable. En este sentido, hay escasa información sobre arquitectura vernácula habitacional, se conoce poco sobre sus beneficios como lo económico que es su realización, las ventajas bioclimáticas, el bajo o nulo impacto al medio ambiente y la importancia cultural-identitaria que implica la preservación de este tipo de sistemas. Razones por las cuales se busca difundir estos sistemas para que se vuelvan una práctica más común y se reconozcan sus beneficios. Además, coadyuva a solucionar uno de los problemas más sensibles que tiene el país, la falta de vivienda o la precariedad de las construcciones, problemática que se abordó y para la cual se propuso una solución en el presente trabajo. Este sistema no está supeditado a las condiciones climáticas, tampoco a los distintos contextos geográficos, ya que históricamente se ha comprobado que la arquitectura de tierra, bien trabajada, puede adaptarse hasta los climas y contextos más difíciles, y perdurar por varias generaciones.

En la propuesta que se presenta, se espera que el sistema se mantenga sin necesidad de mantenimiento al menos 50 años, que es el tiempo que permanece sin alteraciones el bajareque; mientras que el tapial podrá mantenerse intacto hasta cien años.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- [1] INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010) Anuario de Estadística por Entidad Federativa. INEGI.
- [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] (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>
- [4] Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. (1999). Carta de Patrimonio Vernáculo Construido. Madrid. Ratificada en México: ICOMOS.
- [5] Bernal, Ignacio. (1984). Tenochtitlán en una isla. México D.F. SEP.
- [6] Malatesta, S. A. (2006). Análisis del proceso de autoconstrucción de la vivienda en Chile, bases para la ayuda informática para los procesos comunicativos de soporte. Universidad de Catalunya
- [7] 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.
- [8] González, J. T. (2017). La arquitectura sin arquitectos, algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula. AUS (Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad). doi:10.4206/aus.2010.n8-04
- [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] UNE-Norma Española. Ediyada e impresa por AENOR, Deposito legal:M7149:2006
- [12] 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.
- [13] Ramírez Tello, Enrique; Zárate López, Javier; García Ortíz, Maricela, Carta Geológica Minera Mixquiahuala F14-C89, Edición de cartas geológico-mineras y geoquímicas escala 1:50,000, 2009, http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/1696_F14-C89_GM.pdf
- [14] Santoyo Robledo; Espinosa Hernández, V; Maldonado Torres, R; Rubiños Panta, J E; Hernández Acosta, E; Ojeda Trejo, E; Corlay Chee, L. 2010. Sales Solubles y Metales Pesados en Suelos Tratados con Biosólidos en Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente
- [15] SEMARNAT, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México: Diario Oficial de la Federación
- [16] Domínguez Soto Julia María; Román Gutiérrez Alma Delia; Prieto García Francisco, Acevedo Sandoval Otilio, 2011. Evaluación de color en suelos del Cerro de Danganthza, municipio de Francisco I Madero Hidalgo en Acta Universitaria.
- [17] 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>
- [18] Gisbert Blanquer, J.M, Ibáñez Asensio S., Moreno Ramón, H. (2010). La textura del suelo.
- [19] Aedo, W. C. (2002). Adobe: Guía de construcción parasísmica. Misereor.
- [20] Bagues, JL. (2019). La unidad de obra y el precio unitario. <http://hdl.handle.net/10251/122723>
- [21] Argüello Méndez, T. D, Cuchí Burgos, A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. Informes de la Construcción, 60(509), 25-34.