

Cubierta ligera de carrizo, componentes naturales y materiales de desecho. Una alternativa bioclimática y sustentable

Lightweight reed cover, natural components and waste materials. A bioclimatic and sustainable alternative

Rogelio Neria Hernández^a, Índira Paola Cardoso Pérez^a, Jorge Luis Rodríguez Ruíz^{a,*}

^a División de Arquitectura, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, Paseo del Agrarismo No. 2000, Carretera Mixquiahuala-Tula km. 2.5, Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, C.P. 42700, México
Academia de Computación y Electrónica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

Se presenta el prototipo de una cubierta plana para la región de Mixquiahuala de Juárez, región con un clima semiseco ubicada en la parte central del estado de Hidalgo, la cual tuvo por objetivo ser una alternativa ligera, autoconstruible y con importante capacidad de carga. Por su limitante económica, se determinó utilizar técnicas vernáculas que ocuparan en su elaboración, componentes tomados directamente de la naturaleza y materiales de desecho lo que derivó en la idea de un terrado que, al tiempo de ser una alternativa de bajo consumo energético, ofrecería la posibilidad de ser bioclimática. En este tenor, y utilizando al carrizo y polines de madera como componentes estructurales, se conceptualizó un esquema de transferencia de carga uniformemente distribuida de tipo superficial a uno de tipo lineal que permitiera trasladar las cargas a la estructura de los muros. De igual manera, con base en un análisis experimental fundamentado en la experiencia empírica se desarrolló el diseño de la argamasa utilizando la tierra local y estiércol como cementante, el zacate como agregado y una estructura interna a manera de malla de refuerzo a base de cuartos de caña de carrizo. El resultado obtenido fue una estructura ligera y uniforme capaz de resistir la carga puntual sobre una superficie de 40x40 cm. de más de trescientos cincuenta kilogramos con una deformación menor. Si bien la prueba realizada es empírica y solo en función de su capacidad de carga a la compresión, consideramos que la propuesta desarrollada como cubierta de azotea cumple de manera satisfactoria su cometido.

Palabras Clave:

Cubierta ligera, sustentable, autoconstruible, bajo costo, bioclimática

Abstract

The prototype of a flat roof for the Mixquiahuala de Juárez region is presented, a region with a semi-dry climate located in the central part of the state of Hidalgo, which aimed to be a light, self-constructive and important load carrying alternative. Due to its economic limitation, it was determined to use vernacular techniques that used in its preparation, components taken directly from nature and waste materials, which resulted in the idea of a roof that, while being an alternative of low energy consumption, would offer the possibility of being bioclimatic. In this tenor, and using the wooden reed and polines as structural components, a uniformly distributed load transfer scheme of a surface type to a linear type was conceptualized that allowed loads to be transferred to the structure of the walls. Similarly, based on an experimental analysis based on the empirical experience, the design of the mortar was developed using local land and manure as a cement, grass as aggregate and an internal structure as a reinforcing mesh based on rooms reed cane. The result was a light and uniform structure capable of withstanding the point load on a surface of 40x40 cm. of more than three hundred and fifty kilograms with a minor deformation. Although the test carried out is empirical and only based on its compression load capacity, we consider that the proposal developed as a roof covering fulfills its task satisfactorily.

Keywords:

Lightweight, sustainable, self-building, low cost, bioclimatic cover

*Autor para la correspondencia: jrodriguez@itsoeh.edu.mx

Correo electrónico: rneria@itsoeh.edu.mx (Rogelio Neria), icardoso@itsoeh.edu.mx (Índira Paola Cardoso Pérez), jrodriguez@itsoeh.edu.mx (Jorge Luis Rodríguez Ruíz)

1. Introducción

En nuestro país uno de los principales retos por el derecho a una vida digna y decorosa se sitúa “en la dificultad de los más pobres (población ubicada en el decil seis o menos de ingresos) para adquirir una vivienda” (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2018, pag. 27). Datos del estudio diagnóstico del derecho a la vivienda digna y decorosa desarrollado por la Coneval, manifiestan un “rezago de vivienda en 14 millones de estas, en el 45 por ciento de las viviendas mexicanas, sus ocupantes requieren una vivienda completa, o bien, mejoras sustanciales a las que habitan” (Idem). En un contexto internacional, la Nueva Agenda Urbana plantea la necesidad de desarrollar políticas en vivienda que “se centren en las necesidades de las personas sin hogar, las personas en situaciones vulnerables, los grupos de bajos ingresos y las personas con discapacidad” (Naciones Unidas, 2017, pag. 14)

Ante esta problemática se sitúa una oportunidad para desarrollar alternativas de diseño y construcción de vivienda encaminadas a resolver el problema al que nos enfrentamos. Considerando que la principal limitante para la construcción del patrimonio construido significa la falta de recursos económicos, posibilidades como la arquitectura vernácula representan una importante alternativa.

“La arquitectura vernácula al surgir de limitantes económicas, por condición, sustenta sus ideales simplemente en configurar espacios que busquen proteger a sus habitantes de las inclemencias del medio tan solo con aquello que tiene a la mano” (Pérez Herrera, Neria Hernández, & Rodríguez Ruiz, 2018, pag. 39). Evidentemente, al construir con aquello que está a nuestro alcance mediante sistemas vernáculos, el producto desarrollado además de ser económico y altamente rentable, brinda posibilidades bioclimáticas por el confort térmico generado y en muchos de los escenarios resulta sustentable, debido a su mimetización con el entorno, a la baja huella ecológica y en cierta medida al hecho de que brinda las posibilidades de generar vínculos sociales al trabajar de manera colaborativa ya que no requiere de mano de obra especializada.

En este tenor, el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo mediante el financiamiento del Tecnológico Nacional de México actualmente se encuentra desarrollando, a partir del rediseño de diversos sistemas constructivos de este tipo, la construcción de una vivienda destinada a las familias más vulnerables del municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hgo.

En este contexto y en torno al diseño y construcción de la cubierta de la propuesta se identificaron una serie de problemáticas por resolver dentro de las cuales destacaron la necesidad de ser ligera, pero al mismo tiempo con una importante capacidad de carga y fácil de construir de tal forma que integrantes de una propia familia pudieran desarrollarla sin problema alguno. Teniendo la premisa de edificar con aquello que tenemos a la mano nos dimos a la tarea de identificar los componentes que podíamos utilizar en nuestro contexto dentro de los cuales desatacaron por su abundancia y bajo costo la tierra y el carrizo.

“La tierra es el material de construcción natural más importante y abundante en la mayoría de las regiones del

mundo” (Minke, 2005, pág. 13) debido, entre otras cosas, a que el barro, nombre con el que también se le conoce, tiene la capacidad de regular la temperatura interior al brindar la posibilidad de absorber y desorber humedad más rápido y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción” (Ibid, pag.17) por otra parte, en función de bloques elaborados a base de tierra como el adobe, destacan “cinco propiedades que lo caracterizan: bajo costo de fabricación y gran disponibilidad; alto ahorro de energía, haciendo uso principalmente de energías renovables; gran trabajabilidad y propiedades mecánicas óptimas en la construcción; fácil integración al ecosistema local, empleando los materiales y técnicas locales; y fácil reciclamiento de los excedentes de construcción” (Gama Castro, y otros, 2019, pag. 179). Particularmente en torno a la creación de entresijos su aplicación puede realizarse “utilizando barro para aumentar la resistencia al fuego, el aislamiento al ruido y algunas veces el aislamiento térmico” (Minke. Op cit, pag. 133)

Por otra parte “el carrizo (*Phragmites australis*, Cav., Trin. ex Steud) es una planta silvestre que se propaga fácilmente de manera natural. Por lo general crece en pantanos, drenajes y cabeceras húmedas, con amplia distribución geográfica (desde zonas templadas a tropicales” (W. Gerritsen, Ortiz Arrona, & González Figueroa, 2009, pag. 189) en torno a la construcción ha sido un elemento muy utilizado como estructura contenedora de tierra amasada en el sistema constructivo denominado bahareque. “Es un material ecológico y sostenible de bajo costo, estéticamente aceptable, fácil de obtener [...] resistente a las heladas y un buen aislante térmico debido a la gran cantidad de huecos llenos de aire de los tallos” (Withney, 2014, pag. 2). Además, “por las ventajas de su rápido crecimiento, mínimos cuidados para su desarrollo y alta relación resistencia/peso resulta un material muy accesible y prometedor” (Rivera Nuñez, pag. 117). Diversas pruebas a la compresión determinaron que la configuración de nudos o anillos a lo largo de un tallo de este tipo de gramínea le brinda “un efecto favorable al aumentar la resistencia” (Rivera. Op. Cit. pag. 117)

Como parte del diseño de una estructura para la cubierta y tomando en consideración los antecedentes citados, se conceptualizó la idea de que el carrizo al ser utilizado bajo un esquema de transferencia de carga uniformemente distribuido de tipo superficial (cama en sentido longitudinal) a uno de tipo lineal (atados de cuatro carrizos en sentido transversal) podría trasladar las cargas soportadas de manera equidistante a la estructura de los muros. Tomando en cuenta que dicha estructura, estaba constituida por polines de madera a manera de cerramiento y de columnas esquineras y refuerzos intermedios, la idea planteada tenía sentido. Aunado a esto, se configuró la idea de crear una losa de 8 cm. de espesor compuesta por una argamasa a base de tierra utilizando el estiércol como cementante-aglutinante, el zacate como agregado y una estructura interna a manera de malla de refuerzo a base de cuartos de caña de carrizo.

En este sentido, el objetivo de la investigación realizada fue construir el prototipo con base en las especificaciones citadas con la finalidad de determinar los parámetros experimentales de resistencia simple a la compresión, relación peso-capacidad de carga, facilidad constructiva y costos de elaboración a fin de realizar un análisis comparativo entre la cubierta propuesta

y una cubierta convencional de concreto armado. Desde el punto de vista de las bondades bioclimáticas de la propuesta, la investigación realizada desestimó realizar estudios ya que actualmente existen datos comprobados entorno al efecto de aislamiento térmico. Por citar un ejemplo, la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones. - Envoltente de edificios para uso habitacional nos plantea de facto el valor de conductividad térmica para bloques de adobe en 0.930 W/mK^* el cual resulta casi en un 100% menor que al del concreto armado situado en 1.74 W/mK .

“En un clima con días calientes y noches frías en el que la temperatura promedio está dentro del nivel de confort (usualmente entre 17° y 25°C), la capacidad térmica es muy importante para crear un clima interior confortable. Prueba de ello se manifiesta en la figura siguiente donde el efecto del material y de la forma de una edificación en relación al clima interior se muestran de acuerdo a datos tomados en dos construcciones experimentales del mismo volumen construidas en Cairo, Egipto” (Minke, 2005, pág. 39)

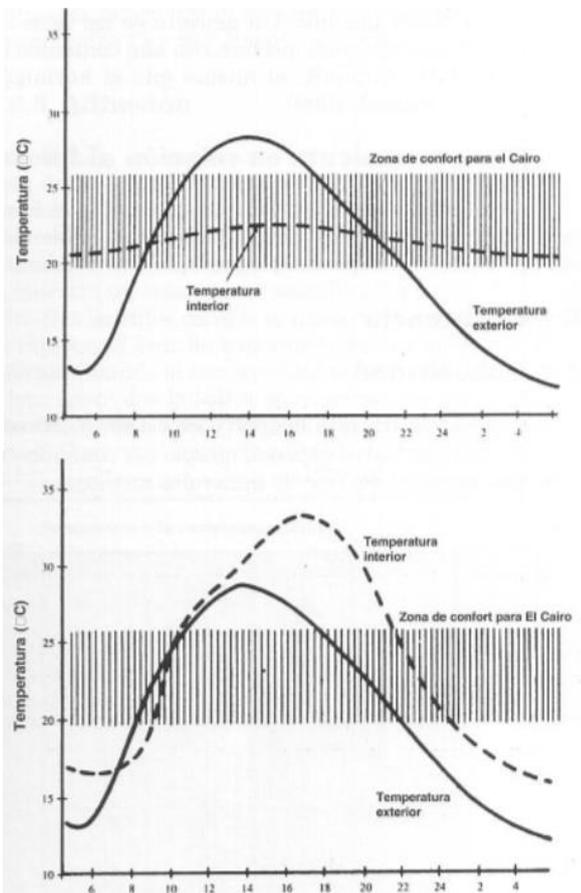


Figura 1. Comparativa de temperaturas exteriores e interiores de una construcción con cubierta de adobe (arriba) en relación a una construida con elementos prefabricados de concreto (abajo) (como se cita en Minke, 2005, pág. 39)

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño y construcción de prototipo

Al respecto, se diseñó una cubierta compuesta en primer lugar por una serie de polines de madera de una sección transversal de 4” (D) colocados a cada 1.00 mt de distancia ya que cada uno de los espacios que componen la vivienda se encuentran modulados en función de polines de 3 mt. de largo, esta estructura será la encargada de transferir el peso total hacia las vigas de cerramiento sobre las cuales se soporta; en dicha estructura se colocaron a cada 20 cm. de distancia, atados de cuatro carrizos (C) en sentido longitudinal amarrados con ligas de 1cm de ancho elaboradas a base de desecho de cámara de llanta de auto, para este caso fue importante contar con carrizos de un diámetro uniforme de aproximadamente 2cm. de tal forma que, en la medida de lo posible, cada uno de los atados quedaran a la misma altura. Sobre cada uno de los atados perfectamente sujetos a los polines antes mencionados, se colocó una cama de carrizos (mismo diámetro) (B) dispuestos sin separación y amarrados con lazo de ixtle de 4mm. de espesor de tal forma que se configuró una estructura horizontal uniforme dispuesta en sentido transversal.

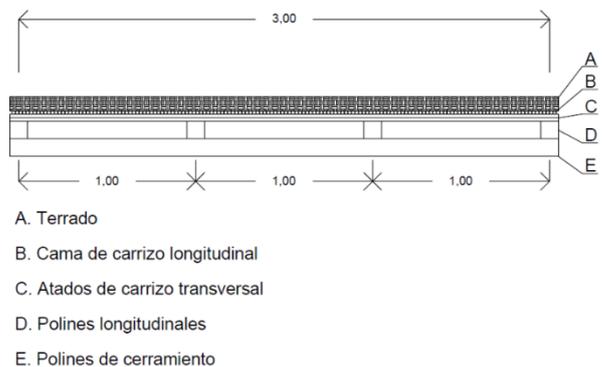


Figura 2. Esquema de losa



Imagen 1. Estructura de carrizo

Finalmente se elaboró una losa de terrado a base de tierra, zacate y estiércol. Para la construcción de la misma y dado que

* Este valor indica la cantidad de calor, medida en watts/m² que penetra en un muro de 1m de espesor a una diferencia de temperatura de 1°C.

en nuestro país no existen normas de construcción con tierra, se recurrió a la Norma Peruana: E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, norma de alcance nacional y de aplicación obligatoria la cual “refiere a las características mecánicas de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada, al diseño sismorresistente para edificaciones de tierra reforzada, a los elementos estructurales fundamentales de las edificaciones de tierra reforzada así como al comportamiento de los muros de adobe y tapial, de acuerdo a la filosofía de diseño sismorresistente” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017, pág. 4) Se comenzó por caracterizar la tierra mediante dos pruebas empíricas denominadas: cinta de barro y resistencia seca con la finalidad de determinar su composición; si bien no son pruebas de laboratorio que en determinado momento nos ofrecen datos exactos, son suficientemente certeras para determinar si la tierra con la que contamos es la adecuada para los trabajos a realizar. Partiendo de que la tierra es una “mezcla se arcilla, limo y arena que algunas veces contiene agregados mayores como grava y piedras” (Minke, 2005, pág. 23) fue importante determinar de manera general sus proporciones para así poder diseñar las mezclas o argamasas a utilizar. En este sentido la caracterización constituyó el origen del proceso ya que, a partir de las pruebas citadas, pudimos determinar la vocación de nuestro suelo.

Como parte inicial en la mecánica a seguir, se cuidó que la tierra a ocupar estuviera a simple vista libre de materia orgánica la cual regularmente se encuentra en una primera capa que va de los 20 a 30 cm. de profundidad.

Con la tierra seleccionada se realizó la prueba cinta de barro la cual consistió en realizar un cilindro de 12mm. de espesor con una muestra de barro y suficiente agua para obtener una mezcla en consistencia similar a la plastilina, posteriormente con esa misma mezcla se realizó una cinta de 4mm de espesor la cual, sobre una mesa de trabajo, lentamente se fue deslizando sobre un borde. La finalidad del ensayo consistió en identificar la distancia promedio de ruptura de la cinta en tres ejercicios similares. En este sentido la norma nos dice que si la distancia es mayor a 20 cm. la tierra es muy arcillosa, y en su caso requerirá adicionarle arena para mejorar su composición, y si es menor a 7cm. es muy arenosa situación que nos obligaría a adicionarle arcilla para obtener una plasticidad adecuada, ya que, de no hacerlo, los resultados derivarían en problemas estructurales. El resultado obtenido en nuestro caso fue una tierra adecuada para uso en construcción ya que el promedio encontrado al corte fue de 12 cm.



Imagen 2. Ensayo cinta de barro

Posteriormente se realizó la prueba denominada resistencia seca la cual consistió en elaborar cuatro bolitas de aproximadamente 2 cm. de diámetro con una muestra de barro adicionada con la cantidad mínima necesaria de agua para, con las palmas de las manos, elaborar cada una de las cuatro bolitas. Una vez elaboradas las cuatro muestras se dejaron secar durante 48 hr. a la sombra. Pasado el tiempo de secado se presionaron cada una, mediante la mayor fuerza posible de un adulto, con los dedos pulgar e índice; en este sentido, la norma nos dice que, si al menos una de las cuatro se fisura, agrieta o rompe, la tierra no es apta para ser utilizada por su bajo contenido en arcilla. Por el contrario, si ninguna presenta problema, la tierra es adecuada para su utilización en la construcción. En este caso, el resultado obtenido fue favorable ya que ninguna de las bolitas tuvo problemas en el ensayo. De haberse presentado los problemas citados, lo conducente habría sido adicionar arcilla al barro hasta lograr los resultados esperados.



Imagen 3. Ensayo resistencia seca

Ya con las pruebas realizadas y con la certeza de que nuestra tierra era apta para la construcción, se prosiguió a diseñar la argamasa, para lo cual, nos basamos en el método de elaboración de barro del Manual de Construcción con Tierra desarrollado por Gernot Minke importante autoridad a nivel mundial de la construcción con tierra

Al respecto se comenzó con el proceso de tamizado el cual consta de extraer las partículas mayores a través de un tamiz elaborado con una malla metálica con separaciones de 4mm. Con la tierra cernida, la misma se humedeció de manera importante y uniforme para dar paso al proceso denominado curado “en el cual la mezcla de barro se deja reposar de 12 a 48 hr. La experiencia ha demostrado que la cohesión del barro incrementa mediante este proceso” (Minke, 2005, pág. 46)



Imagen 4. Tamizado

Con la tierra curada se prosiguió a la realización de la mezcla la cual incorporó zacate en greña, óptimo y adecuado para la reducción de retracción y estiércol, idóneo para estabilizar el barro, “...investigaciones efectuadas en el FEB mostraron que una muestra de revoque de barro ensayada con la prueba de aspersión de chorros de agua se erosiona luego de cuatro minutos mientras que una muestra con 3.5% en peso de estiércol de vaca comenzó a mostrar signos de erosión después de 4 horas” (Ibid, pág. 49). Al respecto, por cada kg. de tierra se le adicionó 100 gr. de zacate (previamente humedecido) y 35grs. de estiércol (previamente reposado durante 4 días) para en conjunto con agua, desarrollar una mezcla con las manos hasta lograr una consistencia pastosa similar a la masa de maíz. Un aspecto importante en este proceso tiene que ver con la expansión y contracción del barro al contacto con el agua y su posterior secado. En términos generales se debe adicionar la menor cantidad de agua posible teniendo como límite el 20% respecto al peso del contenido seco. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017, pág. 18)



Imagen 5. Elaboración de mezcla

Con la mezcla o argamasa lista, se prosiguió a preparar la superficie de la estructura de carrizo para poder vaciarla. En este sentido, se comenzó por colocar una frontera en el perímetro que, para este caso, simplemente se colocaron piezas de block, y a colocar hilos por encima de la cama de carrizos

* Las maestras son referencias lineales elaboradas de mezcla a una altura específica que sirven para señalar una dirección y guiar en el proceso de construcción de un revestimiento a fin de

con la finalidad de identificar los niveles. Se humedeció la superficie y con la finalidad de tener una referencia a seguir, se continuó con la colocación, de vértice a vértice, de maestras* de 4 cm. de espesor a lo largo de nuestra área de colado, como se observa en la imagen 5.



Imagen 6. Colocación de hilos y maestras

Con las referencias colocadas, se continuó con el vaciado en la totalidad de la superficie. Una vez colocada una primera capa de 3.5cm. de espesor, se colocó por encima, una malla reticular con cuadros de 15 x 15 cm. elaborada a base de cuartos de caña de carrizo amarrada con lazo de ixtle de 4mm. con la finalidad de lograr mayor cohesión, al contar con una estructura interna.



Imagen 7. Colocación de malla de cuartos de caña de carrizo

Con la malla colocada, se continuó con la segunda capa de argamasa hasta conformar un terrado final de 7cm. de espesor al cual se le dio un terminado fino con cuchara y llana para lograr tener una superficie cerrada-lisa, que ya seca, nos ofreciera una primera protección a la erosión. Si bien el estiércol nos ofrece una primera barrera por la consistencia que genera, el hecho de tener una superficie lisa nos permitirá generar menor resistencia al viento y por lo tanto mejores posibilidades frente a las inclemencias del tiempo.

conseguir su nivelado y una superficie lo más plana posible. (Construmática Servicios de Información Profesional, S.L., 2009)



Imagen 8. Acabado final en colado de terrado

Una vez terminado el proceso de colado, la cubierta se cubrió con un plástico de poliuretano para retardar la evaporación del agua y a su vez, evitar la aparición de grietas. Pasados los primeros cinco días se retiró el plástico para que terminara de secarse a la temperatura ambiente la cual por la época en que se realizaron los trabajos osciló de los 12° a los 25° C. El resultado final lo podemos observar en la imagen 9, la cual nos muestra una cubierta uniforme, consistente y muy bien conformada.



Imagen 9. Cubierta terminada

2.2. Ensayo compresión simple

Como parte de las pruebas a realizar, se comenzó, pasados 45 días, con el ensayo compresión simple el cual nos ofrece un valor de carga que en determinado momento puede ser utilizado en proyectos sencillos que no requieran de un análisis exacto. En este sentido, dadas las características del modelo, se realizó un ensayo con una carga puntual sobre una superficie de 40 x 40 cm. Al respecto se apilaron piezas de block de aproximadamente 13 kg. cada una, a lo largo de una columna de dos hileras pegadas, con la finalidad de determinar el mayor peso que nuestro modelo en determinado momento pudiera resistir.

2.3. Relación peso-capacidad de carga

Respecto a este punto, se desarrolló la tabla 1, la cual incorpora cada uno de los componentes que se utilizaron en la construcción de la cubierta, así como su unidad de medición. De igual manera por cada uno de dichos componentes se tendría una cuantificación para poder determinar, en función de su peso específico, el peso total de la cubierta. Con el peso total de la cubierta y tomando en consideración la capacidad de carga probada por m², se determinaría la relación peso-capacidad de carga.

Tabla 1. Peso de cubierta

COMPONENTE	UNI DAD	PESO (kg.)	CANTIDAD	TOTAL
				TOTAL

2.4. Facilidad constructiva

Referente a la facilidad constructiva se determinó que dicho aspecto podría evidenciarse en función de tres variables: mano de obra, herramientas y materiales. Respecto a la mano de obra, el objetivo sería determinar su tipo en función del grado de expertiz para la elaboración de los procesos constructivos; en torno a las herramientas, identificar el tipo de herramientas en función de su complejidad de uso y finalmente, respecto a los materiales a utilizar, determinar su tipo, en función de su manejo de tal manera que se buscaría identificar si es necesario equipamiento personal especial para su manipulación. Para cada una de las tres variables, se determinó tener tres niveles de facilidad constructiva: alta, media y baja, donde el aspecto “alta” determinaría para el caso de mano de obra: no requerir mano de obra calificada; herramientas: no requerir de herramientas complejas o con capacitación específica para su manejo y materiales: no requerir utilizar componentes especiales para su manejo. Por otro lado, referente al nivel “baja” los valores serían totalmente opuestos. Al respecto se diseñó la siguiente tabla:

Tabla 2. Facilidad constructiva

VARIABLE	FACILIDAD CONSTRUCTIVA			SUMATORI A
	ALTA (10)	MEDIA (8)	BAJA (6)	
MANO DE OBRA				
HERRAMIE NTA				
MATERIALES				
				TOTAL PROMEDI O
9-10	ALTA			
7-8	MEDI			
5-6	BAJA			

2.5. Costos

En virtud de que el sistema constructivo desarrollado busca tener una aplicación práctica en los sectores más vulnerables de nuestra región o incluso país, la variable del costo cobra una importancia relevante. En este sentido, se desarrolló la tabla 3, la cual nos brindará el resultado del costo final por m2 de la cubierta. Al respecto, se incorporaron, como primer punto, el listado de los materiales o componentes utilizados, así como sus respectivas unidades, cantidades y costos particulares y finales.

Tabla 3. Costos

MATERIA L	UNIDA D	COST O	CANTIDAD	TOTAL
TOTAL				-

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en el ensayo compresión simple nos indican que la cantidad de blocks que se pudieron colocar fue de 26 piezas ya que existía la posibilidad de que se voltearan, logrando acumular un peso de 351.00 kg. En este tenor podemos deducir que la capacidad probada que nuestro modelo de cubierta tiene es de 2193 kg/m2. Por otra parte, entorno a la deformación de la estructura, si bien no se planteó como prueba a realizar, el resultado observado fue que tanto el terrado, como los polines y carrizo, analizados todos, como un componente integral, se pandearon 7mm en total sin que se observara daño tanto en la estructura de tierra como en la de carrizo y polines.



Imagen 10. Ensayo compresión simple

Referente a la relación peso-capacidad de carga, como primer aspecto se determinó el peso total de la cubierta, el cual se observa en la tabla 4, para en función de esta, poder obtener el factor de relación.

Tabla 4. Peso de cubierta

COMPONENTE	UNI DAD	PESO (kg.)	CANTIDAD	TOTAL
POLIN 4 x 4"	ml	3.05	2.00	6.10
ATADOS DE	ml	0.36	5.00	1.80
CARRIZO CAMA DE	m2	3.60	1.00	3.60
CARRIZOS				
TERRADO 7 CM. ESPESOR	m2	96.00	1.00	96.00
TOTAL				107.50

Considerando que el modelo de cubierta soporta un peso comprobado de 2193 kg. y que el peso final de la cubierta por m2 fue de 107.50, tenemos que la relación peso-capacidad de carga de queda en:

$$1:20.$$

Entorno al proceso constructivo de la cubierta, los pasos desarrollados en su elaboración, como se ha citado, fueron muy pocos y sencillos; la mano de obra utilizada estuvo constituida por 9 alumnos de 6° semestre y 3 profesores de la carrera de arquitectura. Si bien, los profesores contaban con conocimientos en construcción, no representaban mano de obra calificada. Por otro lado, los alumnos que intervinieron solo contaban con conocimientos teóricos básicos en torno a procedimientos de construcción, lo que al igual que los profesores, no representaban mano de obra calificada. Por otro lado, las herramientas utilizadas en la elaboración de la cubierta fueron herramientas de corte básico como: palas, carretillas, báscula, arnero, arco con segueta, cuchara mezclera, llana metálica y manguera de nivel, herramienta de uso común y que no requieren de capacitación preliminar. Finalmente, la tierra y demás materiales, a diferencia del cemento, que al contacto con las manos u ojos puede en determinado momento generar daños importantes, no requieren de componentes especiales para su manejo. Tomando de referencia los datos citados se desarrolló la tabla siguiente.

Tabla 5. Facilidad constructiva

VARIABLE	FACILIDAD CONSTRUCTIVA			SUMATOR IA
	ALTA (10)	MEDIA (8)	BAJA (6)	
MANO DE OBRA	10			10
HERRAMIENTA	10			10
MATERIALES	10			10
TOTAL PROMEDIO				30
9-10	ALTA			
7-8	MEDIA			
	A			

5-6

BAJA

Referente a los costos de elaboración los cuales incluyen los materiales para la estructura de polines y carrizo así como los correspondientes al terrado, partimos que al utilizar materiales locales, incluso, que se tienen a la mano de manera próxima, resultaron en algunos casos muy económicos como fue el caso del zacate, polines, alambre, clavos y lazo de ixtle y en otros nulos como sucedió con la: tierra, ligas de cámara de llanta usada, estiércol y carrizo ya que no se requirió desembolsar nada para su obtención. Al respecto tenemos la tabla 6, la cual muestra a detalle los costos por m2 de cubierta

Tabla 6. Costos de materiales por m2 de cubierta

MATERIAL	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	TOTAL
ESTRUCTURA				
POLIN 3 x 3"	ML	34.00	1.44	48.96
CARRIZO	ML	-	28.0	-
LIGAS CÁMARA DE LLANTA	PZA	-	16.00	-
LAZO IXTLE 4mm	KG	80.00	0.20	16.00
CLAVOS 2"	KG	24.00	0.10	2.40
ALAMBRE GALVANIZADO 2mm	KG	38.00	0.15	5.70
TORNILLOS PARA TABLAROCA 4"	KG	28.00	0.15	4.20
TERRADO				
TIERRA	KG	-	80.00	-
ZACATE	KG	1.30	8.00	10.4
ESTIÉRCOL	KG	-	-	-
AAGUA	LT	0.10	15.00	1.50
			TOTAL	\$ 89.16

Referente al costo de la mano de obra, al realizarse por medio de la técnica de autoconstrucción, los costos prácticamente fueron nulos ya que no se requirió contratar mano de obra especializada.

4. Conclusiones

De los resultados manifestados en la sección anterior podemos determinar lo siguiente:

- Dado que la resistencia que se pudo comprobar a la compresión del modelo de cubierta es de 2193.00 kg/m² lo cual significa que cuenta con la capacidad de carga uniformemente repartida de aproximadamente 25 personas con un promedio de 85 kg. de peso y tomando en consideración que dicha cubierta se ha diseñado con la finalidad de ser utilizada en azoteas, se determina que una alternativa de este tipo no presenta problema alguno entorno a su resistencia a la compresión y puede ser una alternativa importante para su uso.

- Referente a la relación peso-capacidad de carga, podemos determinar, en primer lugar, que el tener un peso total de 107.50 kg /m² la hace un sistema constructivo ligero en comparación con una losa maciza de concreto armado la cual en promedio llega a tener un peso de 240 kg/m² situación que a su vez permitiría bajar considerablemente costos de cimentación aunado a las ventajas existentes en zonas sísmicas ya que si llegara a fallar un sistema constructivo de este tipo, por el peso que representa, los daños al interior de una vivienda, serían considerablemente menores en comparación con aquellos espacios con losa maciza tradicional. Por otra parte, el determinar que el modelo propuesto puede llegar a cargar 20 veces su propio peso lo vuelve un sistema constructivo de gran eficiencia.

- Sin lugar a duda una de las mayores ventajas que representa el modelo propuesto es el referente a los costos. Si consideramos que una losa maciza tradicional llega a tener un costo de entre \$750.00 y \$850.00 por m² en nuestra región de estudio, el costo obtenido de \$89.16 por m² lo vuelve ampliamente rentable ya que hablamos de que llega a estar 10 veces más económico. Considerando que familias de escasos recursos en muchas ocasiones no llegan a edificar su patrimonio principalmente por los altos costos de la construcción hoy en día, esta posibilidad, se vuelve de gran relevancia.

- Respecto a su facilidad constructiva, sin lugar a duda podemos afirmar que para la construcción de un modelo de este tipo no se requiere mano de obra calificada ni mucho menos herramienta especializada lo que lo vuelve una importante alternativa para ser utilizado bajo el sistema de autoconstrucción.

Finalmente podemos concluir que la alternativa que representa la construcción de una cubierta conformada por una estructura de polines de madera, carrizo y terrado como el que se propone, representa importante posibilidad en la autoconstrucción tanto por sus importantes resultados entorno a su capacidad de carga, bajo peso, sencillez constructiva como por su gran economía en su elaboración.

Como futuros trabajos y tomando como referencia los resultados obtenidos en estas primeras pruebas, se plantea realizar ensayos con base en la Norma para paneles para uso estructural NMX-C-405-ONNCCE-2014 con la finalidad de determinar su resistencia a la flexión, al impacto y al fuego. De igual manera, será necesario no perder de vista que aun con las ventajas que representa una alternativa de este tipo, es necesario incorporar en su diseño integral, por un lado un impermeabilizante que le permita tener una barrera a las inclemencias del tiempo y por otro, un recubrimiento a la estructura interna de carrizo para que su tiempo de vida pueda incrementarse de manera significativa.

Una sección de conclusiones no es necesaria. Sin embargo, las conclusiones pueden revisar los puntos más importantes de un artículo, pero no debe replicarse el resumen en las conclusiones. Las conclusiones pueden tratar sobre la importancia del trabajo realizado o sugerir aplicaciones o trabajos futuros.

Una sección de conclusiones no es necesaria. Sin embargo, las conclusiones pueden revisar los puntos más importantes de un artículo, pero no debe replicarse el resumen en las conclusiones. Las conclusiones pueden tratar sobre la importancia del trabajo realizado o sugerir aplicaciones o trabajos futuros.

Referencias

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2018). Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa 2018. Ciudad de México: CONEVAL.

- Construmática Servicios de Información Profesional, S.L. (23 de 02 de 2009). Construmática. Obtenido de Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción: <http://www.construmatica.com>
- Gama Castro, J., Cruz y Cruz, T., Pi Puig, T., Alcalá Martínez, R., Cabadas Baez, H., Jasso Castañeda, C., . . . Vilanova de Allende, R. (2019). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 177-188.
- Mendez, F. (2011). Criterios de diseño bioclimático para viviendas en San Pedro Sula.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (07 de Abril de 2017). Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Kassel: Fin de siglo.
- Naciones Unidas. (2017). Nueva Agenda urbana. Secretaría de Habitat III.
- Pérez Herrera, L., Neria Hernández, R., & Rodríguez Ruiz, J. (2018). La vivienda vernácula como sistema. Consideraciones sociales, identitarias y ecológicas. En J. Zarur Cortés, S. Osnaya Baltierra, & E. Toledo Toledo, Proyecto Chinantla. Hacia un diseño sustentable y en apoyo a la salud de las personas (págs. 25-47). Editorial Académica Española.
- Rivera Nuñez, R. (s.f.). Análisis de las propiedades y características del carrizo para su aplicación como material de refuerzo en la construcción. México: Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Secretaria de Energía. (09 de Agosto de 2011). Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones. - Envoltante de edificios para uso habitacional..
- W. Gerritsen, P., Ortiz Arrona, C., & González Figueroa, R. (2009). Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo: estudio de caso en la costa sur de Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 185-207.
- Withney, J. (8 de Julio de 2014). Arquitectura en carrizo: materiales naturales. Obtenido de <http://arqnatural04.blogspot.com/2014/07/arquitectura-en-carrizo.html>