

13. Método de evaluación para entrepiso semiprefabricado de pajarcilla



ALAN SOSA CONTRERAS*

ALBERTO MUCIÑO VÉLEZ**

CESAR ARMANDO GUILLÉN GUILLÉN***

IVONNE ROSALES CHÁVEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.300.13>

Resumen

El entrepiso de pajarcilla surge como una alternativa viable y sostenible para viviendas de dos niveles construidas con materiales naturales. Sin embargo, su aplicación enfrenta desafíos significativos como la alta demanda de madera para cimbra, el esfuerzo físico requerido en su proceso constructivo y la ausencia de normativas específicas en México. Además, la falta de datos mecánicos confiables sobre su desempeño estructural limita su implementación a gran escala.

Este capítulo analiza el desarrollo y uso histórico de la tierra en entrepisos y cubiertas, tomando como referencia tecnologías similares para evaluar la viabilidad del entrepiso de pajarcilla. Debido a la complejidad de los materiales naturales, se propone un método de prueba basado en normativas existentes para otros materiales, adaptado a las particularidades de la tierra y la pajarcilla.

* Arquitecto. Maestrante en Tecnologías en Arquitectura de la UNAM, México. Correo electrónico: alansosac15@comunidad.unam.mx

** Doctor en Arquitectura. Investigador del CIAUP, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6386-0249>.

*** Doctor en Pensamiento Científico Tecnológico de la Arquitectura. Colaborador en el Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales en la UNAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2596-6122>

**** Doctora en Ciencia e Ingeniería. Miembro de la Red de Cristalógrafos de la IUCr del Comité de Normalización en Nanotecnologías y de la ISO, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9422-5208>

Más que centrarse en los resultados obtenidos, el estudio enfatiza la necesidad de contar con un método de evaluación replicable que permita determinar si esta solución constructiva cumple con las exigencias estructurales de los entrepisos. Esto abre la puerta a una construcción más sustentable y adaptable a distintas condiciones, ofreciendo nuevas posibilidades para la arquitectura con tierra en México.

Palabras clave: *construcción con tierra, pruebas mecánicas, normativas de construcción.*

Introducción

Una alternativa para viviendas de dos niveles con materiales naturales es el entrepiso de pajarcilla. Sin embargo, el proceso constructivo resulta pesado para los trabajadores, además, representa un alto consumo de madera para la cimbra. Aunado a esto no se cuenta con datos mecánicos sobre el material para esta aplicación ni normativas de construcción con tierra para entrepisos en México. Es así como a partir del análisis de otros desarrollos tecnológicos para entrepisos de materiales naturales y el análisis histórico del uso de la tierra en entrepisos y cubiertas se fue estableciendo la ruta de evaluación de este. Los métodos y procesos de prueba se tomaron de normativas enfocadas en otros materiales, con sus respectivas adecuaciones. Se presenta el método de evaluación propuesto para determinar si el entrepiso semiprefabricado de pajarcilla puede cumplir con las solicitudes de carga en entrepisos y por tanto ser una alternativa de construcción sostenible contemporánea. Se destaca la necesidad de un método y no del registro de los resultados obtenidos ya que, a partir de la complejidad de un material como son las tierras para construcción, se vuelve vital una evaluación particular para cada caso.

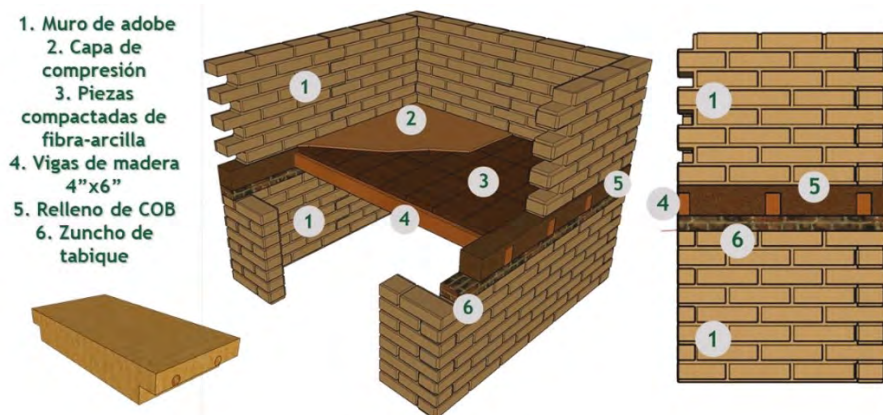
Figura 1. *Proceso constructivo del entrepiso de pajarcilla*

Fuente: autoría propia.

Incompatibilidad

La desvinculación normativa, transferencia y apropiación tecnológica de la arquitectura de tierra con las necesidades habitacionales de la actualidad se debe a distintos factores, entre ellos, el tiempo y esfuerzo que requieren las técnicas constructivas con tierra. Debido a esto, el objetivo inicial del presente proyecto era pasar de un sistema tradicional (ver figura 1) a uno prefabricado, donde además del impacto positivo en cuanto a la reducción de tiempos de elaboración y cantidad de madera utilizada para elaborar el prototipo, la tierra también aportara resistencia estructural al sistema y no solo la aislación térmica y acústica. A partir de los criterios del entrepiso original de pajarcilla, aunado con el análisis histórico de la construcción de entrepisos de tierra, se llegó a una primera propuesta de prefabricación (ver figura 2).

Figura 2. Propuesta preliminar de entrepiso prefabricado



Fuente: elaboración propia.

Pero la prefabricación únicamente estaría resolviendo un problema, incluso si en este punto se demostrara que la propuesta reduce tiempos y gasto de material, su implementación en la construcción se seguiría viendo limitada al no poder validar la propuesta desde la parte estructural. Por todo lo anterior, se postuló la evaluación mecánica de la pajarcilla, cada vez que se busque implementar este sistema, esto debido a que al tratarse de un material natural (no industrializado) las características de una tierra siempre serán diferentes a las de otras y por tanto la pajarcilla tendrá un desempeño mecánico diferente en cada caso.

Es así que la necesidad de tener un método de evaluación para el entrepiso semiprefabricado de pajarcilla nace a pesar de que se cuente con investigaciones que reportan resistencias de algunas técnicas similares como el bajareque o el adobe. Al hablar de arquitectura de tierra, siempre se tienen variables que impactan en los resultados presentados, desde la técnica constructiva, el tipo de tierra, la fibra utilizada, así como las cantidades y los métodos de prueba realizados, por lo que, la evaluación particular de la pajarcilla y de sus componentes, se vuelve vital.

Lo que se busca al proponer un método de evaluación y no solo resistencias o parámetros a cumplir es abrir el panorama con relación a las tierras, entender que no existe una sola tierra para construir, sino que son

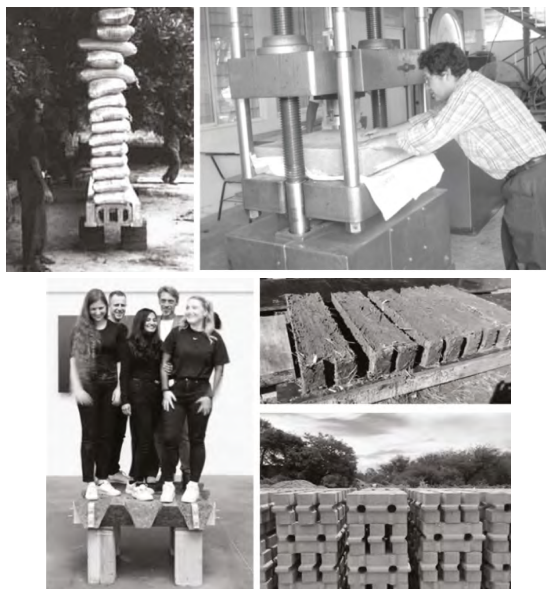
muchas y muy diferentes entre ellas. Evidentemente hay tierras más adecuadas para unas técnicas que para otras, por lo que ninguna es mejor o peor, simplemente habrá que descubrir de qué forma o bajo qué parámetros la tierra con la que contamos al alcance de la mano puede servir para cubrir las necesidades de hábitat en la actualidad, en este caso, para un entrepiso de pajarcilla.

Procedimientos de prueba

Cabe recalcar que en las normas de construcción mexicana únicamente se menciona a la tierra para hacer referencia al material granulométrico dispuesto en el suelo donde se desplanta la construcción y que en ningún punto se menciona como material constructivo (Normas Técnicas Complementarias, 2017). Como el suelo si se clasifica por intereses geológicos, se pueden tomar como referencia algunos métodos para identificar las características de este. Sin embargo, para evaluar la tierra como material constructivo, dentro de las normas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), solamente se cuenta con la NMX-508-ONNCCE (*Industria de la construcción. Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo*).

Ante los problemas de regulación que existen con respecto a la tierra en cuanto a su aplicación y métodos de prueba, se optó por tomar como referencia algunos principios de evaluación utilizados en desarrollos tecnológicos similares, ya sean prefabricados de tierra o sistemas para cubiertas a base de materiales naturales (ver figura 3). A partir de estos, se detectaron los esfuerzos a los que eran sometidas las propuestas tecnológicas, destacando las pruebas a compresión y flexión por ser los esfuerzos a los que está sometido un sistema de entrepiso o cubierta, por lo que se filtró del catálogo de normas (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C., 2023) aquellas que evaluaran materiales a flexión. Algunos principios de diseño y evaluación fueron tomados de casos análogos como el adobillo (Dávila y Contreras, 2022), el machimbloque (Sánchez, 1983), los hourdiblocks (Auroville Earth Institute, s/f), el sugarcrete (Gutiérrez et al., 2022) y el domotej (Castañeda, 2022).

Figura 3. *Criterios de evaluación y diseño de caso análogos*



Fuente: Auroville Earth Institute (s/f); Castañeda (2022); Dávila y Contreras (2022); Gutiérrez et al. (2022); Sánchez (1983).

Método de evaluación por etapas

Con todo esto se concluyó que, para evaluar y posteriormente validar el sistema de entepiso, se debe (1) caracterizar la tierra, (2) evaluar la flexibilidad del material, (3) evaluar la compresión del material, (4) probar en las piezas modulares y la capa de compresión, (5) definir el sistema completo de entepiso. Al evaluar primero el material, se puede comprender la influencia mecánica de los distintos agregados que puede llevar la pajarcilla y modificar sus concentraciones conforme los resultados que se van obteniendo. Dentro de las ventajas que se tienen, es que la evaluación de la propuesta se realiza lo más parecido a los esfuerzos que estará sometido en su disposición final, contrario a lo que sucede con otras técnicas de construcción con tierra, donde se requiere probar secciones grandes y pesadas, ya que la respuesta mecánica recae más en su trabajo en conjunto que en la resistencia del material.

Figura 4. Método de evaluación por capas

Fuente: elaboración propia.

Definición de tierra y pruebas

La construcción con tierra está relacionada con las características del suelo. Al existir diversas tierras, resulta necesario conocer las características de cada una. Ante un panorama disperso en cuanto a qué ensayos se deben ejecutar, se hizo un compendio de pruebas de campo y laboratorio, utilizadas para clasificar suelos y caracterizar tierras. Basado en la recopilación, análisis y síntesis de la bibliografía consultada con relación a las pruebas para conocer las características de la tierra (Caballero Cervantes, s/f; Carazas Aedo y Cooperación Comunitaria, 2021; Guillén et al., s/f; Minke, 2006; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s/f) se seleccionaron aquellas que tuvieran una equivalente en laboratorio y campo.

Las pruebas de campo han acompañado a la construcción con tierra, por lo que existe una relación directa entre los resultados obtenidos y su aplicación en algún sistema constructivo. Es importante entender que se requiere experiencia para tener un criterio adecuado en la interpretación de los resultados de las pruebas de campo. Por otra parte, las de laboratorio son tomadas de otras ramas como la geotecnia o la mecánica de suelos, de las cuales, se obtienen datos cuantitativos, estos estudian el suelo y no la tierra como un material constructivo.

Tabla 1. Pruebas para caracterización de tierra

A evaluar	Pruebas de laboratorio (PL)		Prueba de campo (PC)	
	Prueba	Norma	Prueba	Referencia
Preliminar / Preparación	0. Preparación	NMX-C-416-ONNCCE-2003, cap. 3	1. Consistencia seco	Consistencia del suelo FAO
			2. Corte de esfera	Manual de construcción con tierra Gernot Minke
Composición	1. Tamizado	NMX-C-416-ONNCCE-2003, cap. 5	3. Tamizado	Práctica constructiva
	2. Sedimentación	NMX-C-416-ONNCCE-2003, cap. 12	4. Sedimentación	Notas sobre bioconstrucción Proyecto San Isidro
Consistencia	3. Límite Líquido	NMX-C-416-ONNCCE-2003, cap. 6	5. Límite líquido	Det. límites líquido y plástico del suelo LMSE 11
	4. Límite Plástico	NMX-C-416-ONNCCE-2003, cap. 7	6. Límite plástico	
Contracción			7. Límite de ccontracción	
Clasificación de suelo/ Tipo de tierra		Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS	8. Sacudimiento	Consistencia del suelo FAO
			9. Bola-rollo-bola	Manual de construcción con tierra Gernot Minke
Cohesión			10. Churrometría	Construir con bajareque cerén cooperación comunitaria
			11. Pastilla	

Fuente: elaboración propia.

Pajarcilla

Para hacer la pajarcilla se requieren 3 componentes básicos: tierra, agua y paja. Primero se mezcla la tierra con agua para formar una lechada de lodo, conocida como barbotina, también puede entenderse como tierra en estado semilíquido, con cierto espesor y viscosidad. Entre más arcillosa es la tierra, se puede trabajar con una barbotina menos espesa. Debido a que la cantidad de agua requerida puede depender del tipo de tierra, resulta complejo determinar una relación agua-tierra (Volhard, 2006). Una prueba sencilla para saber si la consistencia de la barbotina es la adecuada, consiste en introducir la misma fibra y en seguida retirarla, si al hacer esto, la fibra está

recubierta de barbotina es un indicio de que la viscosidad o consistencia de la barbotina es la correcta (Caballero, s/f). Como indicio, la cantidad de agua necesaria para hacer barbotina estará siempre encima del límite líquido. Por tanto, se puede tomar como inicio el porcentaje del límite líquido e ir aumentando la cantidad de agua de 5 % en 5 %.

Se recomienda romper los grumos de la tierra y posteriormente cribarla con una malla de 1-2 cm de abertura, lo anterior, para facilitar el mezclado con el agua, además de que, como su nombre lo indica, la técnica requiere de la arcilla. Si bien algunas tierras no requieren el cribado, por ser mayormente finas, con el cribado se asegura trabajar con la parte más fina de la tierra (>5 mm), donde se encuentra la arcilla, junto con limos y algunas arenas. Una vez hecho lo anterior, se vierte en un recipiente con agua, hasta esperar a que la tierra esté completamente húmeda, lo que se comprueba una vez que dejan de aparecer burbujas de aire. Se recomienda dejar reposar la barbotina al menos 24 horas, para activar la arcilla con el agua.

Figura 5. *Mezclado de la pajarcilla*



Fuente: elaboración propia.

La pajarcilla es una técnica similar al bajareque, con la diferencia de que se requiere apisonar dentro de una cimbra temporal. Para su elaboración se comienza por esparcir la paja en una lona, después hay que ir humedeciendo la paja con la tierra para generar la barbotina (tierra en estado semilíquido), los componentes se deben mezclar hasta obtener una mezcla lo suficientemente seca para ser compactada, pero con la cantidad de barbotina necesaria para aglutinar la paja (Caballero y Guerrero, 2021). El proceso de mezclado se puede hacer de forma manual, ya sea con ayuda de

alguna pala, madera o con las manos, esto último permite ir corroborando que los grumos de la tierra se vayan disolviendo y a su vez irlos disgregando ya sea presionándolos con la mano o contra las paredes del recipiente (ver figura 5).

Se parte de una mezcla base a partir de lo expuesto en el libro *Light earth building: a handbook with wood and earth* (Volhard, 2016) para establecer las cantidades de cada componente en la pajarcilla. Aunque una mayor densidad puede traducirse en mayor resistencia y menor deformación, también genera piezas más pesadas. Como ejemplo, al utilizar densidades bajas se obtienen piezas de 6 kg mientras que con densidades altas serán de 8 kg aproximadamente. Además de que una mezcla menos densa tendrá características térmicas aislantes, mientras que las más densas se desempeñan como masa térmica. Antes de comenzar a realizar las probetas es necesario hacer un primer muestreo. Para este ejercicio, se elaboraron cubos de 10 · 10 · 10cm lo que facilita el cálculo de la densidad. El pesaje de estos se debe hacer periódicamente hasta que su peso no cambie en más del 1%.

Evaluación a flexión

La resistencia que puede llegar a presentar la tierra a flexión puede ser despreciable, sin embargo, en la pajarcilla, la fibra absorbe parcialmente este esfuerzo, mientras que la tierra lo hace a compresión, generando una mezcla óptima para entrepisos o cubiertas.

Tabla 2. Cantidades por m3 de pajarcilla por densidad

Densidad kg/m³	Cantidades para 1m³				Cantidades totales		
	Tierra	Paja	Agua	Factor extra	Tierra	Paja	Agua
	kg	kg	kg				
800	720.00	80.00	360.00	20%	864.00	96.00	432.00
900	820.00		410.00	10%	902.00	88.00	451.00
1000	920.00		460.00	0%	920.00	80.00	460.00

Fuente: elaboración propia a partir de Volhard (2016).

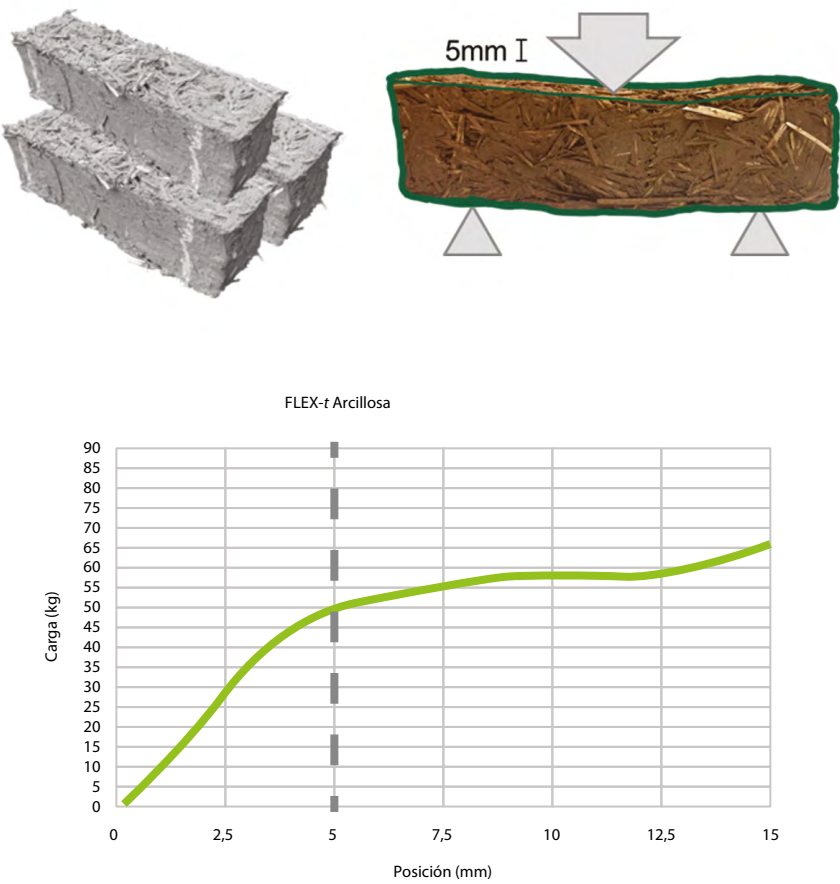
Figura 6. Muestreo de mezclas por densidad

Fuente: elaboración propia.

La evaluación de la flexión de la mezcla, para su futura aplicación en las piezas modulares, se realizó tomando como referencia la norma NMX-C-303-ONNCCE. *Industria de la construcción, concreto. Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro*. Aunque la norma indica que la aplicación de la carga debe ser 10 kgf/cm² por min, por estar enfocada a evaluar un material más resistente pero frágil, como el concreto, se decidió verificar otros trabajos donde se hayan evaluado mezclas de tierra a flexión. Se encontró que la prueba se realizaba en razón del desplazamiento (Araya-Letelier et al., 2018; Paul et al., 2023) y no de la carga (0.5 mm/min o 1 mm/min). Además de esto, como la estructura principal del entrepiso es de madera (ver figura 2), se encontró que en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (2017) existe el término de pisos ligeros de madera y para que la propuesta de entrepiso entrara en este criterio se necesitaba comprobar que la pajarcilla proporcionaba una rigidez equivalente a la madera. Juntando todos los criterios antes mencionados se optó por aplicar un desplazamiento de 5 mm/min como lo establece la ASTM que evalúa la madera a flexión.

Para las medidas de las probetas se respetaron las especificaciones de la norma, que pide un claro de 3 veces el peralte, así como un extra a los extremos de al menos 1". Para cada muestreo se requiere un mínimo de 3 probetas de 20 · 5 · 5 cm, siendo preferible para el análisis estadístico realizar 5 probetas. Además, se optó por tomar como válida la resistencia obtenida

Figura 7. Número de probetas, condiciones de ensayo y análisis de resultados a flexión



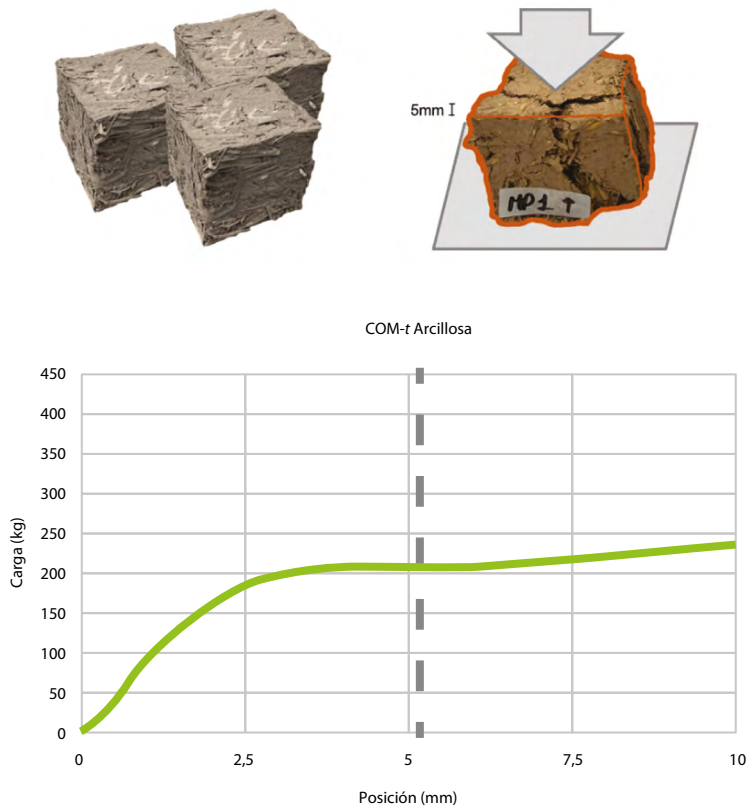
Fuente: elaboración propia.

hasta los 5 mm de desplazamiento y no a la falla de la probeta, ya que si bien, después de presentar los 5 mm de deflexión, las probetas continuaban mostrando cierta resistencia ante la carga (lo cual puede ocurrir debido al cosido de las fibras), al analizar las gráficas carga-deformación, la región plástica de la pajarcilla se daba a partir de este punto (5 mm) lo que representaba deformación irreversible. Aunado a esto, la desviación estándar en el módulo de ruptura se reduce cuando se establece en este punto, lo que genera una mayor fiabilidad en los resultados.

Evaluación a compresión

La evaluación de la mezcla a compresión se llevó a cabo tomando como referencia las especificaciones y métodos de ensayo establecidos en la normativa NMX-C-508-ONNCCE. Industria de la construcción. *Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo*, que a su vez se refería a la NMX-C-036-ONNCCE. Para este caso, las probetas deben ser cúbicas de 5 · 5 cm. Nuevamente, se mantuvo la cantidad de probetas mínimas (3), así como la velocidad de carga en 5 mm/min y tomando como válidos los primeros 5 mm de desplazamiento. Este punto evalúa la mezcla que será utilizada para la capa de compresión.

Figura 8. Numero de probetas, condiciones de ensayo y análisis de resultados a compresión



Fuente: elaboración propia.

Evaluación de la pieza y refuerzo

Una vez que se tiene definida la mezcla con las mejores resistencias se fabricarán los elementos modulares. Para este caso, el tener elementos modulares permite su evaluación a escala 1:1 y de forma similar a la que estarán sometidos en su colocación final. Por su similitud con el sistema de vigueta y bovedilla, se realiza la prueba de acuerdo a los procedimientos y métodos de ensayo descritos en la NMX-C-463-ONNCCE. *Industria de la construcción. Bovedilla de poliestireno expandido para losas de entresijos y azotea de concreto a base de viguetas prefabricadas. Especificaciones y métodos de ensayo*, enfocada en la evaluación de la bovedilla de poliestireno.

Para esta etapa igualmente se requiere un mínimo de 3 elementos y aunque las medidas de las piezas a evaluar podrán variar de acuerdo a las características del proyecto, sí es necesario adaptar un soporte que asimile las vigas del sistema unidas con algún elemento transversal, como lo puede ser un espárrago con tuercas (ver figura 9), esto por dos situaciones: evitar que ante la aplicación de la carga, las maderas se separen y al mantener unidas las vigas de madera, se está representando el empuje que generan las piezas de los costados sobre éstas, anulando de algún modo, el riesgo de volteo o separación.

Figura 9. Soporte para pruebas a piezas



Fuente: elaboración propia.

Como la NMX-C-463 pide aplicar una carga concentrada de 125 kg en un minuto sin presentar falla por corte o flexión, al hacer las pruebas a flexión de las probetas se podría tener un indicio de la futura aprobación por norma del elemento o no. Si bien no es escalable y en cada caso será

distinto, se propone que desde la evaluación de las probetas a flexión se puede tener un indicio de que mezclas cumplirán con la norma, una vez sea implementada en la pieza prefabricada. De forma aproximada y sin tomar esto como un parámetro de cumplimiento, se encontró que resistiendo los 50 kg en las probetas a flexión, se incrementa la posibilidad de cumplir con lo solicitado para las piezas prefabricadas. Así como en la evaluación a flexión, se valida a partir del promedio de mínimo de 3 piezas.

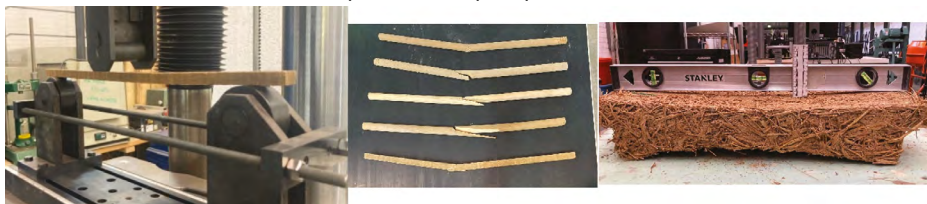
Figura 10. *Numero de probetas para evaluación de pieza y condiciones de prueba*



Fuente: elaboración propia.

Al cuestionar si realmente lo que está resistiendo la carga en el elemento modular es la pajarcilla o el refuerzo de madera, se realizó la prueba a flexión del refuerzo (ver figura 11). Con esto se encontró que aun cuando los refuerzos resisten en promedio 100+/-5 kg, la deformación sufrida es mucho mayor a la reportada al estar envueltos por la pajarcilla, además de que, al trabajar en conjunto, la pieza continúa soportando carga a pesar de quebrar el refuerzo.

Figura 11. *Prueba a flexión del refuerzo interior de madera, refuerzos y pieza prefabricada post-prueba*



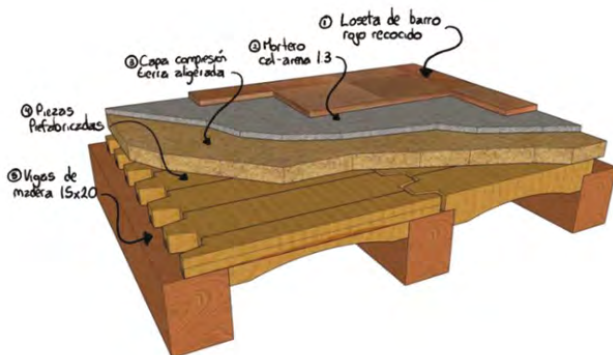
Fuente: elaboración propia.

Evaluación del sistema

Al no contar con un método específico para evaluar experimentalmente un entrepiso, así como la norma NMX-C-406-ONNCCE sobre métodos para los componentes de sistemas de losas de concreto prefabricadas y especificaciones evalúa los elementos por separado, las NTC indican que, en caso de no contar con evidencia suficiente, sea teórica o experimental, para considerar que la estructura satisface la seguridad estructural se deberán realizar pruebas de carga, sobre prototipos, o modelos que produzcan las condiciones reales.

Esto puede realizarse usando algún software de simulación alimentado de los datos obtenidos en las propias pruebas o en su defecto, realizar pruebas empíricas o de campo, como las observadas en los casos análogos que, aunque no se tiene una carga constante ni un registro riguroso, al fabricar un módulo de 1 m² escala 1:1 e ir sumando los pesos de las personas que se van subiendo al módulo se da una carga mayor a la combinación de cargas de las NTC, se puede decir que este cumple. Además de ser el método más sencillo de replicar, es el más representativo visualmente, así como la aplicación de la carga es similar a la que estará sometido en la vida útil del sistema. Para cualquiera de los dos métodos se necesita calcular la combinación de carga de acuerdo con el apartado de pisos ligeros de madera de las NTC, donde se establece la carga viva como una carga concentrada de 250 kg para los elementos de soporte y de 100 kg para la cubierta (ver figura 12).

Figura 12. Carga que debe resistir el entrepiso semi-prefabricado como piso ligero de madera

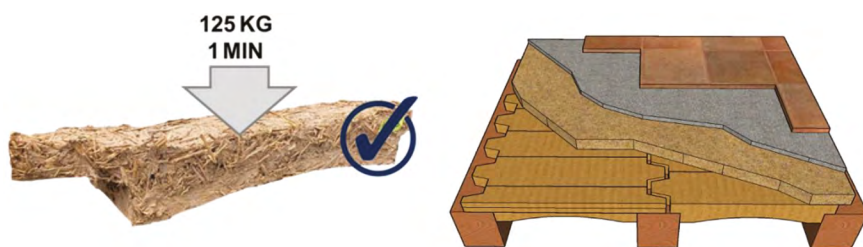


Entrepiso semi-prefabricado de pajarcilla			
C. MUERTAS			
Modulo	Largo	Ancho	Area
	1.00	1.30	1.30
	Peso (kg/m ³)	Grosor (m)	Total (kg/m ₂)
Loseta de barro rojo recocido 30x30x2	1500.00	0.02	30.00
		1x1x0.02	1500x0.02
Mortero cal-arena 1:3	1500.00	0.02	30.00
		1x1x0.02	1500x0.02
Capa de compresión de tierra aligerada	1000.00	0.05	50.00
		1x1x0.05	980x0.05
Elementos prefabricados compactados de tierra aligerada	V. bruto	V. vacío	V. neto
	0.13	0.031	0.099
	areax0,10	(a.rectangulo+sagita)x2	v.bruto-v.vacío
	Peso (kg/m ³)	V. neto	Peso módulo
	980.00	0.10	96.93
			980x0.010
	Peso por m ₂		74.56
	Peso módulo/area modulo		
Vigas de madera laminada	V. bruto	V. vacío	V. neto
	0.26	0.200	0.060
	areax0,10	a.rectangulo	v.bruto-v.vacío
	Peso (kg/m ₃)	V. neto	Peso módulo
0.15 x 0.20	500.00	0.06	30.00
			500x0.02
	Peso por m ₂		23.08
	Peso módulo/area modulo		
CM TOTAL			207.64
C. VIVAS			
	W	Wa	Wm
Casa Hab.	80	100	190.00
Pisos ligeros (soporte)			250.00
Pisos ligeros (cubierta)			100.00
A usar			250.00
C.SERVICIO			
=Carga Muerta+Carga Viva			
457.64 kg/m ₂			
Factores de carga			
Permanentes	1.3	207.64	269.93
Variables	1.5	250.00	375.00
Carga total			644.93

Fuente: elaboración propia a partir de las NTC.

Ahora bien, como la norma establece que el método de ensayo seleccionado deberá definirse específicamente para cada caso de interés y en caso de no tener la posibilidad de realizar una prueba del sistema a escala 1:1, para este estudio, se entiende que la validación del entrepiso completo se puede dar a partir de que sus componentes, y de este modo los elementos modulares que, resistan los 125 kg marcados en la NMX-C-463, se pueden tomar como resultados aprobados por la normatividad vigente.

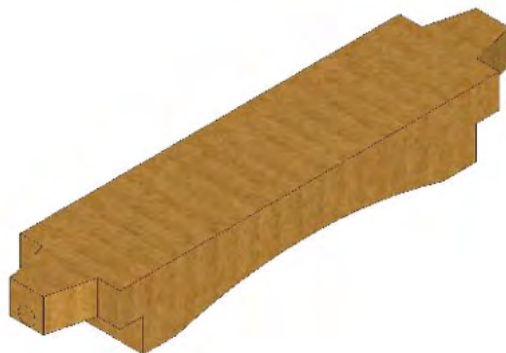
Figura 13. Validación de propuesta por prueba a pieza prefabricada



Fuente: elaboración propia.

Como complemento, también se calculó la carga que deberá resistir cada pieza dentro del sistema a partir de la carga por m^2 calculada con las NTC. Como la división de la carga no sucede de esta forma y el cálculo de esta forma únicamente solicita una resistencia de 30 kg por pieza, se opta por reivindicar lo establecido en la NMX-C-463-ONNCCE.

Figura 14. Carga a resistir por pieza en el sistema



Carga a elemento modular			
C. MUERTAS			
Modulo	Largo	Ancho	Area
	1.00	1.30	1.30
	Peso (kg/m ₃)	Grosor (m)	Total (kg/m ₂)
Loseta de barro rojo recocido 30x30x2	1500.00	0.02	30.00
		1x1x0.02	1500x0.02
Mortero cal-arena 1:3	1500.00	0.02	30.00
		1x1x0.02	1500x0.02
Capa de compresión de tierra aligerada	1000.00	0.05	50.00
		1x1x0.05	980x0.05
CM TOTAL			110.00
C. VIVAS			
	W	Wa	Wm
Casa Hab.	80	100	190.00
Pisos ligeros (soporte)			250.00
Pisos ligeros (cubierta)			100.00
		A usar	100.00
C. SERVICIO			
=Carga Muerta+Carga Viva			
210.00		kg/m ₂	
Factores de carga			
Permanentes	1.3	110.00	143.00
Variables	1.5	100.00	150.00
Resistencia			293.00
Peso a resistir por pieza			
Reparto de peso			
kg/modulo	1.3	293.00	380.90
No. De piezas			13
Resistencia			29.30
Peso por pieza			
	Volumen Bruto	0.011	
	Volumen Vacio	0.003	
	Volumen Neto	0.008	
	Densidad	980.00	
	kg por pieza	7.64	

Fuente: elaboración propia a partir de las NTC.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en los métodos de prueba elaborados se puede concluir lo siguiente:

- a. No se requiere una norma que determine las resistencias que debe cumplir la tierra, pero sí se requiere evaluarla como cualquier material de construcción.
- b. Los criterios y métodos de evaluación para otros materiales terminan no siendo los más adecuados, por lo que requieren modificarse para ser aplicados en la construcción con tierra.
- c. Para esto se deben entender las diferentes técnicas de construcción con tierra y, por tanto, proponer diferentes procesos de evaluación según el sistema constructivo y requerimientos mecánicos.
- d. Los procesos de evaluación de las técnicas de construcción con tierra deberán iniciar por el análisis de la tierra y conocer su interacción con los demás componentes.
- e. Cada caso de caracterización de material será único, por lo que la evaluación particular de los componentes de la pajarcilla se vuelve vital.

Se recalca que de esta forma se estarían validando las partes del sistema y que la forma de validar el sistema en conjunto será la fabricación a escala real. Sin embargo, lo que se busca con este método es dotarlo de mayor seguridad antes de ejecutar la prueba 1:1 o su construcción.

Referencias

- Araya-Letelier, G., Concha-Riedel, J., Antico, F. C., Valdés, C. y Cáceres, G. (2018). Influence of natural fiber dosage and length on adobe mixes damage-mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, 174, 645–655. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.151>
- Auroville Earth Institute. (s/f). *Hourdi roofing*. Architecture. <https://dev.earth-auroville.com/hourdi-roofing/>

- Caballero, A. (s/f). *Notas sobre bioconstrucción*.
- Caballero, A. y Guerrero, L. (2021). Entramados. En *Experiencias de bioconstrucción: conceptos generales y visiones desde México* (1ra edición). Bonilla Artigas.
- Carazas, W. y Cooperación Comunitaria. (2021). Materia prima. En *Construir con bajareque cerén. Experiencias en el contexto de Oaxaca, México* (1ra edición). a+terre ediciones/ misereor ihr hilfswerk.
- Castañeda, G. (2022). Evaluación de la tecnología para techos Domotej. En *Domotej. Tecnología para techos de vivienda de producción asistida*. (2da edición). Universidad Autónoma de Chiapas.
- Dávila, V. y Contreras, J. (2022). ¿Qué es el adobillo? En A. Riquelme Bravo (Ed.), *El adobillo. Cultura constructiva de Valparaíso* (2da edición). Gobierno de Chile.
- Guillén, C. A., Verdusco Chirino, G. L. S. y Muciño Vélez, A. (s/f). *Determinación del límite de contracción lineal de los suelos*. UNAM. <https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/86747>
- Guillén, C. A., Verdusco, G. L. S. y Muciño Vélez, A. (s/f). *Determinación del límite de contracción lineal de los suelos*.
- Gutiérrez, A., Chandler, A., Shilova, E., Ayati, B., Nichols, P., Omowunmi, F., Ciftci, B., Arvindkumar, H., Taha, R., Ranasinghe, K., Sai Ganji, M., Borda, A.-M., Gillespie, A., Ukabhai, M., Klimenteva, A., Henley, S., Tsakiridis, G., Nikitidis, P. y Singer, P. (2022). *Sugarcrete. Slab report*. <https://uel.ac.uk/sites/default/files/uel-sugarcrete-slab-report---7-nov-2022.pdf>
- Minke, G. (2006). The properties of earth as building material. En *Building with earth. Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser.
- NMX-C-303-2004. *Industria de la construcción - concreto - Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, s. c.
- NMX-C-463-2009. (2009). *Industria de la construcción- Bovedilla de poliestireno expandido para losas de entrepisos y azotea de concreto a base de viguetas prefabricadas- Especificaciones y métodos de ensayo*. Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-508-2015. (2014). *Industria de la construcción- Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal- Especificaciones y métodos de ensayo*. Diario Oficial de la Federación.
- Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Reglamento publicado en Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 29 de enero de 2004. [15 de diciembre de 2017 última reforma].
- Normas Técnicas Complementarias. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Reglamento publicado en Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 29 de enero de 2004. [15 de diciembre de 2017 última reforma].
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación s.c. (2023). *Catálogo de normas ONNCCE*. ONNCCE.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s/f). 6. *Textura del suelo*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

- Paul, S., Islam, M. S. y Hossain, M. I. (2023). Suitability of Vetiver straw fibers in improving the engineering characteristics of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 409, 134224. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.134224>
- Sánchez, R. (1983, noviembre). *Machimbloque de tierra comprimida estabilizada [Ponencia]*. Tercer Simposio CIB/RILEM, México.
- Volhard, F. (2006). Preparation of clay slip. En *Building with earth. Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser.
- Volhard, F. (2016). Preparation of the light earth mix. En *Light Earth Building. A handbook for building with wood and earth*. Birkhäuser.