

9. El muro sustentable B-Pallets y su caracterización como sistema constructivo



MARCO MONTIEL ZACARÍAS*

MIRIAM REMESS PÉREZ**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.300.09>

Resumen

El artículo se centra en el proyecto educativo innovador B-Pallets, desarrollado por un grupo de profesores y estudiantes pertenecientes al cuerpo académico habitabilidad y tecnología sustentable de la Universidad Veracruzana, caracterizado por abordar diversas problemáticas sociales. Este proyecto adopta una visión sistémica en la construcción, identificando actores y procesos clave donde se destaca el papel de las universidades públicas en México, con énfasis en la Universidad Veracruzana y su enfoque social, especialmente en la carrera de arquitectura y la necesidad de su pertinencia social al afrontar desde la academia, soluciones a los problemas del contexto social.

Así mismo, se detalla el sistema B-Pallets, sus características técnicas, experiencias en la construcción de prototipos y propuestas estructurales. También se presentan resultados iniciales de pruebas de confort térmico realizadas por el cuerpo académico COCOVI de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas con quienes se trabajó en colaboración. Se ofrecen, además, recomendaciones técnicas para las siguientes etapas de evaluación

* Doctor en Arquitectura. Profesor-investigador de la Facultad de Arquitectura, Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3000-274X> ; correo electrónico: mmontiel@uv.mx

** Doctora en Arquitectura. Profesora-investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4004-1870>

físico-mecánica del sistema, alineadas con normas técnicas nacionales e internacionales.

Palabras clave: *sistemas constructivos, construcción sustentable, B-Pallets, confort térmico.*

Introducción

Dentro de los objetivos y misiones básicos de la academia se encuentra la creación y transferencia del conocimiento a la sociedad como parte de las herramientas para la formación de profesionistas críticos que sean capaces de identificar y responder a los problemas que enfrentan la comunidad. En México, las universidades públicas tienen un carácter eminentemente social. En el caso de la Universidad Veracruzana y su carrera de arquitectura, la búsqueda de soluciones para coadyuvar a resolver los problemas sociales es un eje vital del quehacer universitario.

En este capítulo se abordan de manera específica las características técnicas del sistema constructivo B-Pallets. A manera de un manual gráfico se presentan las propiedades para un muro confinado *pallets* de madera reciclados, así mismo la construcción de prototipos y la propuesta tanto estructural para su aplicación en espacios habitables, como la propuesta de rellenos, aislantes y acabados desde la revaloración de materiales naturales y reciclados, también las técnicas y saberes de los oficios de la construcción. Por último, se ofrecen los primeros resultados de las pruebas de confort térmico realizadas por el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas.

Antecedentes

La pertinencia de los proyectos académicos de investigación e innovación tecnológica son entendidos, desde esta universidad, como la capacidad de ofrecer alternativas a la complejidad de los problemas sociales, culturales, ambientales, económicos y políticos conectados entre sí generalmente. En

este sentido, el proyecto educativo innovador B-Pallets, un modelo de construcción sustentable del cuerpo académico habitabilidad y tecnología sustentable CAUV 440 de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, recoge de forma amplia y generalizada los antecedentes, justificación y pertinencia social de un proyecto multidisciplinario. La importancia de una visión sistémica de los procesos de construcción permitió identificar los diferentes actores que participan en cada una de las etapas, desde proveer los materiales, como la gestión de los procesos, permisos y autorizaciones, finalmente, la asesoría y dirección técnica para la ejecución del sistema.

En este sentido, agradecemos la colaboración de la Unión Ganadera Regional de la zona centro del estado de Veracruz, que prestó sus instalaciones para la realización de las pruebas constructivas, así como la participación entusiasta de los estudiantes Aylín Adriana Ramírez Romero, Pedro Uziel Rosas Morales, Orlando Rafael Aguilar Flores y Jesús Fuentes Arellano. Para la realización de los dibujos que en este capítulo se presentan, agradecemos la colaboración del estudiante de servicio social Axel Giovani López.

Descripción del sistema

El sistema constructivo B-Pallets es un muro compuesto de madera sin funciones de carga, que se anclan a un sistema porticado estructural. Es un sistema híbrido en sus materiales y en su procedimiento. Consiste en módulos a base de *pallets* de madera, a los cuales se le incorpora una placa de poliestireno expandido de 8 cm de espesor en su interior como aislante térmico. En posición vertical se colocan dos *pallets* uno sobre otro y se unen horizontalmente entre sí, mediante un polín de madera de 4" · 4" a cada uno de sus lados. Cerrando todo el sistema del bastidor, se remata con una dueda a todo lo largo en la parte superior y otra inferior sobre la cual descansan los *pallets*.

Una vez conformado el muro, sobre la superficie del *pallet* se instala una tela de gallinero como refuerzo para recibir un acabado final, tema que será desarrollado más adelante.

Un aspecto importante de destacar es que el material artificial del cual hace uso el sistema, como el unicel, es un material que se está reutilizando,

es decir, su elección como material aislante térmico no es por motivos de preferencia, sino porque es un material que ya fue fabricado, usado y desechado. De esta manera, se soluciona una doble problemática al reutilizar un material no perecedero y evitar, al mismo tiempo, que termine contaminando el ambiente al ser desechado o incinerado.

Respecto a los aspectos de rigidez del propio sistema, podemos decir que su propia forma le confiere resistencia a la torsión y al pandeo. Esto debido a que el propio sistema se constituye de un bastidor cuyo trabajo de arriostramiento lo realiza el mismo *pallet*, al considerar varias uniones a lo largo de los polines verticales.

Figura 1. Los componentes del sistema de muros B-Pallets



1. *Pallet* americano de madera. Medidas: 1.00 m. x 1.20 m.
2. *Pallet* americano de madera cortado a la mitad verticalmente. Medidas: .57 m. x 1.20 m.
3. *Pallet* americano de madera cortado a la mitad horizontalmente. Medidas: 1.00 m. x .66 m.
4. Polín de madera. Medidas: 2.20 m. de altura x 0.10 m. de ancho x 0.10 m de profundidad.
5. Tablón de madera. 33 mm de espesor.
6. Marco de vano a base de tabloncillos de madera.

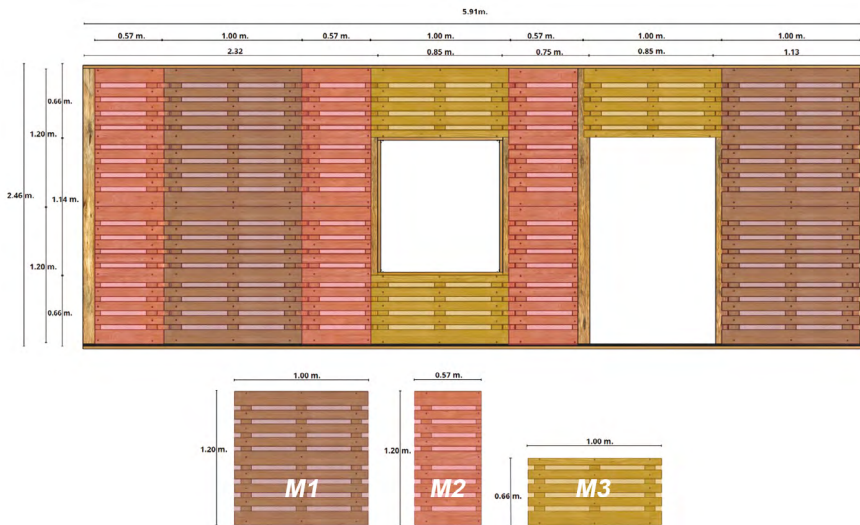
Fuente: elaboración propia.

Modulación y ensamblado

Uno de los aspectos a considerar al momento de aplicar este sistema en el diseño de espacios habitables es la modulación de sus dimensiones. A partir de las medidas y características constructivas de los *pallets* más empleados

en el puerto de Veracruz, se propone el uso de módulos de 1 pieza y $\frac{1}{2}$ pieza. Los *pallets* de $\frac{1}{2}$ pieza pueden obtenerse en sentido vertical u horizontal, de tal forma que los vanos para puertas y ventanas tendrán siempre la posibilidad de proporcionarse en medidas de 1.20m · 0.57m. y sus múltiplos.

Figura 2. La modulación del sistema B-Pallets



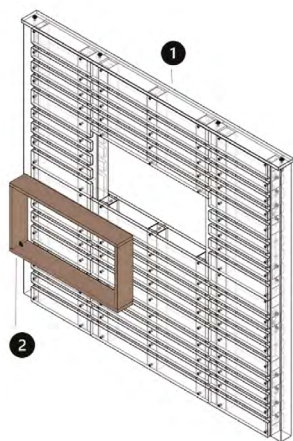
Fuente: elaboración propia.

Toda la delimitación de vanos que se realizan deben estar reforzadas con duelas de madera, provenientes de los mismos *pallets* que se fijan a los módulos mediante clavos para madera. De esta manera, junto con los polines que unen verticalmente los *pallets*, el sistema se rigidiza permitiendo una adecuada transmisión de cargas dentro del muro y al mismo tiempo prepara la superficie para recibir los marcos y contramarcos de puertas y ventanas.

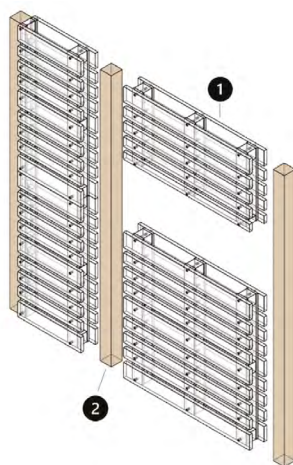
La propuesta también considera la posibilidad de que el sistema de muro se pueda unir tanto a sistemas porticados de marcos rígidos de madera, concreto o acero. En el caso de unión a madera, la fijación se realizará mediante clavo o pija, permitiendo la posibilidad de remover el sistema en un futuro. En el caso de unión a columna de concreto, se realizará mediante taquetes expansivos. En el caso de unión del sistema a un perfil estructural,

se sueldan a este, secciones de ángulo de 2" · 1/8" a las que se fijarán los polines externos del muro mediante pijas.

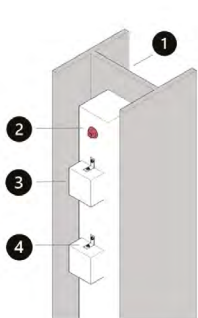
Figura 3. *Ensamblaje de los módulos, refuerzo de vanos y unión del sistema B-Pallets a marcos rígidos*



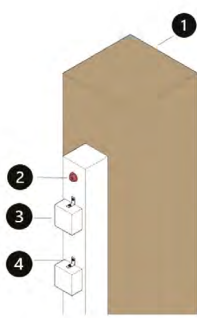
1. Estructura a base de *Pallets*, polines, tableros de madera y relleno de poliestireno expandido.
2. Marco de vano a base de tableros de madera. 33 mm de espesor.



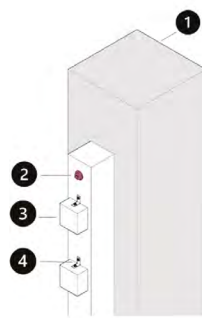
1. *Pallet* americano de madera.
2. Polín de madera. Medidas 4" por 2.20 m de altura.



1. Estructura de acero.
2. Taquete expansivo 3/8".
3. Tacos residuales de los *Pallets*. Medidas: 8.00 cm de altura x 7.60 cm de ancho x 4.50 cm. de profundidad.
4. Ángulo canto cuadrado de 30 x 30 mm.



1. Estructura de madera.
2. Taquete expansivo 3/8".
3. Tacos residuales de los *Pallets*. Medidas: 8.00 cm de altura x 7.60 cm de ancho x 4.50 cm. de profundidad.
4. Ángulo canto cuadrado de 30 x 30 mm.



1. Estructura de concreto.
2. Taquete expansivo 3/8".
3. Tacos residuales de los *Pallets*. Medidas: 8.00 cm de altura x 7.60 cm de ancho x 4.50 cm. de profundidad.
4. Ángulo canto cuadrado de 30 x 30 mm.

Fuente: elaboración propia.

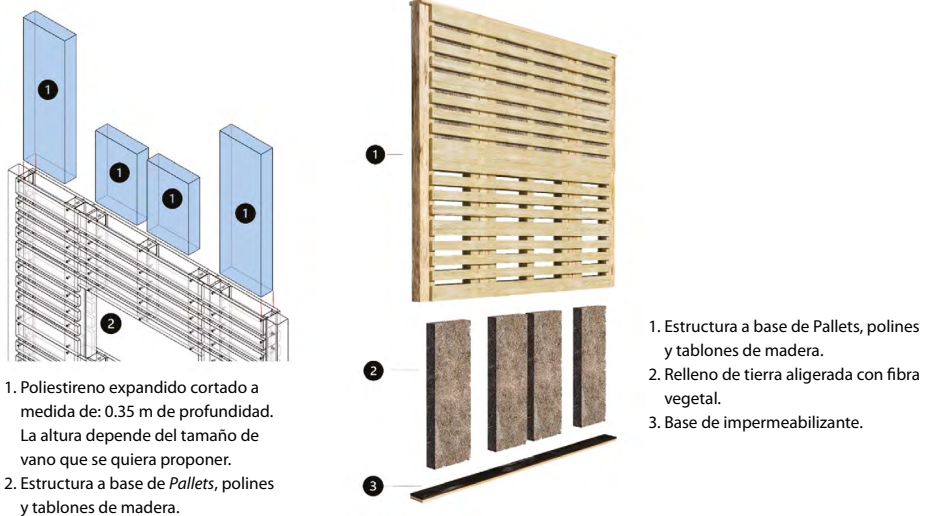
El interior del muro B-Pallets

Debido a la estructura interna de los *pallets* de madera a emplear dentro del sistema, existe un espacio que puede ser aprovechado tanto para rellenar con materiales de reciclaje o naturales, así como para el paso de instalaciones. En el primero de los casos, el objetivo es brindar una solución para subsanar uno de los mayores problemas de la vivienda precaria, la falta de confort térmico al interior y, por ende, la pérdida total de la habitabilidad del espacio doméstico.

Para mejorar la eficiencia térmica del sistema se realizaron dos propuestas de relleno. La primera con los bloques de poliestireno expandido (unicel) de 1m³ aproximadamente que se recuperaron de los procesos de embalaje de la mercancía del puerto, los cuales se cortaron en piezas de 10 cm de espesor para ser insertados en el centro de los *pallets*. Esta opción es la que mejores resultados obtuvo en las pruebas de eficiencia térmica con placa caliente.

La segunda opción que se exploró fue la de crear una mezcla de tierra aligerada con fibra vegetal y restos de poliestireno expandido, como una alternativa a una posible escasez del poliestireno expandido.

Figura 4. Relleno interior de poliestireno expandido (izq.) y relleno de tierra aligerada con fibra vegetal (der.)



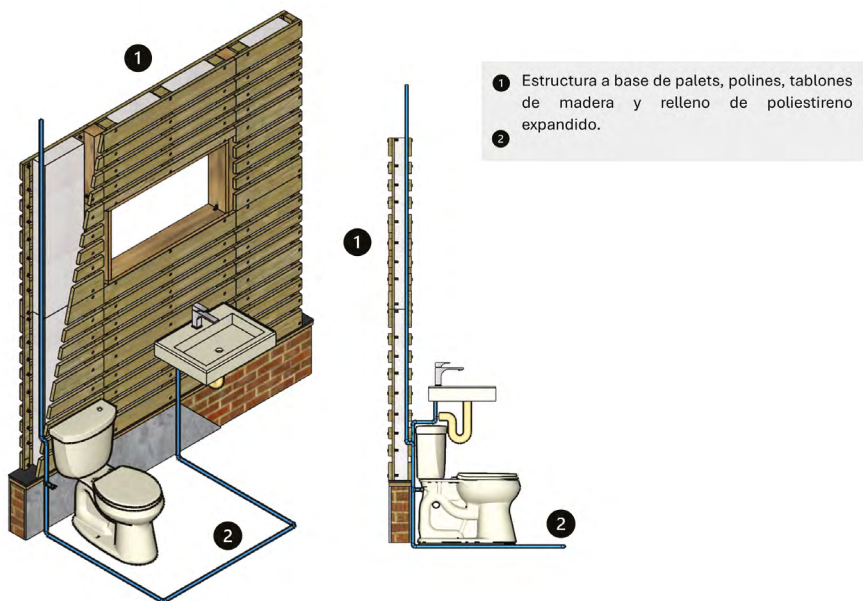
Fuente: elaboración propia.

Instalaciones

Para el paso de las instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, la estructura de los *pallets*, que incluye una de las opciones de relleno vistas, puede fácilmente ser utilizada para dejar espacio para el paso de tuberías. De esta manera, el sistema permite ocultar su paso, sin tener que realizar ranuras en el muro.

Después de plantear las propuestas tanto para el paso de instalaciones como para buscar el confort térmico a través del relleno aislante, la siguiente sección comprende las opciones que se proponen para el acabado del sistema, el cual tiene también la intención de proteger la estructura de madera.

Figura 5. Detalle del paso de instalaciones al interior del sistema B-Pallets



Fuente: elaboración propia.

Recubrimientos y acabados. Revocos de tierra y cal

Una de las apuestas más fuertes del sistema B-Pallets es el empleo de materiales naturales para sus recubrimientos. La formulación y el proporciona-

miento de morteros, revocos y estucos variará en función de las características de los materiales naturales a emplear, entendiendo que la cantidad de arcilla, limo y arenas presentes en la tierra requerirá de agregados que busquen estabilizar y fortalecer la mezcla. Cada una de ellas necesitará mayor o menos cantidad de arcilla, de arenas finas y gruesas, de fibras naturales y de tipos de cal, por lo que cada proyecto será específico.

La cal también juega un papel importante en la construcción con tierra, ya que este material es un aditivo que puede amplificar muchas cualidades si trabaja en conjunto con el barro. La cal sirve como un estabilizador para la tierra que le ayuda a mejorar su capacidad impermeable.

El uso de la cal y su revaloración como material de amplísimas posibilidades en la construcción está motivado por las experiencias en el ámbito de la restauración de inmuebles patrimoniales; donde ha quedado claro desde hace varios años que una edificación es un sistema iterativo de materiales, técnicas y oficios entrelazados el cual no puede ser interrumpido con la incorporación de materiales no permeables, como el cemento. Así como la arquitectura patrimonial debe ser intervenida y consolidada mediante las mismas técnicas constructivas y materiales naturales originales para su conservación, las técnicas y materiales que se empleen en la construcción de obra nueva deben incorporar los criterios de reciclaje de materiales y sustentabilidad en todos sus procesos.

Con el redescubrimiento de los materiales naturales como alternativa sustentable a los procesos constructivos con materiales industriales surge una mayor conciencia generalizada de la sustentabilidad en la industria de la construcción a partir de su aparición, también en la agenda mundial de los objetivos de desarrollo sostenible. Los sistemas industriales basados en procesos de producción lineal han generado un grave problema de contaminación del medioambiente en el que precisamente la industria de la construcción es una de las más contaminantes del mundo debido a la gran cantidad de energía requerida para la producción de materiales y a la generación de desechos que estos generan.

La incapacidad de los materiales contemporáneos de ser reutilizados como es el caso del cemento, las resinas, los sistemas constructivos patentados que emplean poliestireno expandido y extruido, paneles de yeso y cemento celular, entre otros, cuyos residuos y sobrantes son considerados

directamente desperdicio, pues generan grandes cantidades de basura en las construcciones, por lo que es necesario difundir ampliamente los procesos de producción sustentable no lineales. Un modelo de construcción circular donde los sobrantes de materiales de construcción se reutilicen y se incorporen al ciclo, inclusive, donde se integren materiales de desecho de otras industrias, como la madera y el unisel empleados para la consolidación y protección de cargamentos.

Es entonces que, a partir de esta nueva perspectiva integral, el enfoque innovador del proyecto del sistema B-Pallets permitió desarrollar diversas pruebas y experimentos que arrojaron nuevas evidencias de que es posible una alternativa a los procesos industriales de construcción basada en materiales de construcción naturales y reutilizados, aplicando tecnologías intermedias y principios de autoconstrucción.

Formulación de las capas de agarre, nivelación y acabado

Para el acabado y envolvente de los muros del sistema B-Pallets se propone el empleo de materiales naturales de la región. Como una alternativa a las tradicionales mezclas de morteros para revocos que generalmente incorporan porcentajes de cemento y otros agregados producto de procesos industriales, se propone el uso de la tierra y la cal sobre la base de la arena para formular revocos que permitan dar un acabado a las paredes del sistema.

A continuación, se describe el procedimiento: sobre la superficie del *pallet* se fija inicialmente una malla metálica hexagonal (tela de gallinero) como soporte para mejorar la adherencia del revoco al *pallet* y evitar su desprendimiento. El acabado de revoco consiste en 3 capas.

Como puede advertirse, la superficie del *pallet* posee un entramado de madera que deja entrever el aislante interior entre la separación de las due-las. Esto genera que, al presentar una superficie discontinua, el objetivo de la primera capa del acabado sea rellenar esos espacios entre maderas para proporcionar una superficie regular pero heterogénea como capa de agarre. Esto requiere de la formulación de un mortero grueso, reforzado con fibra natural para reducir la contracción de la mezcla.

A partir de esta primera condición se ensayaron diferentes proporciones de materiales de la región. En el caso de este estudio empleamos tierra de la zona del municipio de Ignacio Zaragoza, Ver., mejor conocido como La Mixtequilla. De esta zona se extrajeron dos tipos de tierra, una clara y una oscura. La primera muestra de montículo presentó buena curva granulométrica y proporcionamiento entre arcillas, limos y arenas, por lo que se optó por su uso en estas pruebas de revocos. La muestra de tierra oscura de zona más pantanosa presentaba poca curva granulométrica, prevaleciendo los limos y presentó poca cohesividad, por lo que se decidió no utilizar.

La primera prueba se realizó con tierra, arena, fibra en proporción 1:2:1, la segunda prueba se realizó agregando un 5% del peso de la mezcla en cal para un proporcionamiento de 1:2:5%:1 y en la tercera se agregó cal en proporción 1:1:1:1, siendo esta última la que mejor comportamiento tuvo, al presentar una mínima contracción al secar.

Como parte de estas pruebas, se desarrolló un taller de experiencias vivenciales con estudiantes de la licenciatura de arquitectura de la Universidad Veracruzana. Las pruebas que se hicieron con diferentes proporciones de materiales se contrastaron hasta obtener los resultados esperados de resistencia, plasticidad, cohesividad y rigidez, estos permitieron identificar las mejores proporciones para cada una de las capas que conforman la propuesta de revoco (figura 6).

Capa inicial de agarre. Revoco grueso. Proporción (1 tierra : 1 arena : 1 cal: 1 paja)

Tiene el objetivo de cubrir la superficie del *pallet*, absorbiendo los desniveles y huecos que quedan entre duela y duela de madera y, al mismo tiempo, servir de base para recibir la siguiente capa de revoco. En las zonas más profundas tendrá 2 cm de espesor y en las más superficiales 0.5 cm. Debido a su espesor y para que logre sostenerse, el revoco llevará como agregado fibra natural, lo cual permitirá que el agrietamiento a causa de la retracción de la tierra cuando seque sea mínimo y que se enrede en la malla metálica, logrando un sistema rígido con capacidad de adherencia. Los materiales se

revuelven en seco, se agrega agua limpia y se deja reposar la mezcla. Se aplica y alisa con las manos.

Capa intermedia de nivelación. Revoco delgado. Proporción (2 arena : 1 cal)

Tiene como objetivo nivelar y afinar la superficie del revoco grueso (más poroso), generando una capa de 0.5cm de espesor, más compacta y densa. El tener una superficie lisa y libre de irregularidades es la base perfecta para recibir el acabado final. La arena se usa cernida y la cal en pasta (15 días de reposo previo, mínimo). Para la mezcla se usa engrudo en lugar de agua. Se aplica con cuchara de albañil y se alisa con llana de madera o flota de hule.

Capa de acabado final. Revoco fino (estuco). Proporción (1 cal)

Tiene el objetivo de sellar la superficie de la pared. El acabado final es un estuco de cal en pasta de unos 2 mm de espesor, al cual se le puede agregar color de 5% a 10% del volumen de mezcla, pudiendo ser arcilla fina cernida o colorante en polvo para cemento (agregar diluido si se quiere evitar la aparición de cometas). La cal en pasta debe tener 15 días de reposo previo, mínimo. Se aplica con llana metálica y una vez seco se bruñe hasta quedar brillante. Antes del bruñido se puede aplicar una capa de jabón neutro diluido en agua para generar una superficie impermeable. Esta última capa tiene el poro muy cerrado, situación que le beneficia contra la erosión del viento y la lluvia.

Figura 6. Pruebas de proporcionamiento para revocos de tierra y cal. Taller vivencial con estudiantes de arquitectura de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Construcción de muros del sistema B Pallets y mobiliario. Taller vivencial con estudiantes de arquitectura de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz



Fuente: elaboración propia.

Conductividad térmica

Para validar la eficiencia, seguridad y propiedades del sistema constructivo B-Pallets respecto al confort térmico y su eficiencia energética, se realizó una prueba de laboratorio para determinar la conductividad térmica del sistema como muro. Para efectuar esta prueba se construyeron especímenes del muro de 40 · 40 cm y 18 cm de espesor, con las posibles variantes de relleno y acabado que pudieran presentarse.

Tabla 1. *Tipos de especímenes contruidos del sistema B-Pallets para la realización de la prueba a través del aparato de placa caliente con guarda (ASTM C177-97)*

Muestra y Número de ensayo		Conductividad (W/m K)
Muestra 1	M1-E1	0.232
	M1-E2	0.2778
	M1-E3	0.3019
VALOR FINAL		0.2705

Fuente: elaboración propia.

La determinación de conductividad térmica y resistencia térmica del sistema B-Pallets fue realizada en el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables, sede UNACH, aplicando al espécimen identificado como M1 (ver tabla 1) el método de prueba a través del aparato de placa caliente con guarda (ASTM C177-97).

Los tres ensayos realizados al espécimen M1 durante mayo y junio de 2022 estuvieron a cargo del Dr. Raúl Pável Ruiz Torres, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 2. *Valores por muestras y ensayos. Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables. Sede UNACH*

Variable	VALOR
Conductividad térmica (W/m K)	0.2705
Resistencia térmica (m²K/W)	0.6808
Espesor (m)	0.182
Temperatura media de trabajo del EPCG (°C)	37.05

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Conductividad térmica del Sistema B-Pallets. Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables. Sede UNACH

<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
MURO TIPO I 40 x 40 cm	3 piezas	Estructura de <i>pallet</i> con relleno aislante de poliestireno expandido (unicel). Acabado base: revoco de arcilla, arena y fibra natural. Acabado intermedio: revoco fino de arena y cal. Acabado final: estuco de cal y pigmento.
MURO TIPO II 40 x 40 cm	3 piezas	Estructura de <i>pallet</i> con relleno aislante de poliestireno expandido (unicel). Acabado con duela de madera clavada sin machimbrar.
MURO TIPO III 40 x 40 cm	3 piezas	Estructura de <i>pallet</i> con relleno aislante de mezcla aligerada de arcilla, arena, fibra natural y trozos de poliestireno expandido (unicel). Acabado base: revoco de arcilla, arena y fibra natural. Acabado intermedio: revoco fino de arena y cal. Acabado final: estuco de cal y pigmento.
MURO TIPO IV 40 x 40 cm	3 piezas	Estructura de <i>pallet</i> con relleno aislante de mezcla aligerada de arcilla, arena, fibra natural y trozos de poliestireno expandido (unicel). Acabado con duela de madera clavada sin machimbrar.

Fuente: elaboración propia.

Para tener una idea del valor de conductividad térmica obtenido 0.2705 W/mK, comparemos, por ejemplo, con los valores de otros materiales naturales y tradicionales empleados en la construcción. Un muro de ladrillo cocido macizo de 12 cm de espesor con un aplanado de cal, tiene una conductividad térmica de 0.87 W/mK (Arancibia, 2013, citado en Cuitiño et al., 2020), un muro de ladrillo cerámico hueco de 12 cm 0.12 W/mK (Muñoz et al., 2015, citado en Cuitiño et al., 2020) y un muro de concreto armado se incrementa hasta 1.4 W/mK (Muñoz et al., 2015). Según Cuitiño et al. (2020) se requerirían mayores espesores en los muros, 35 cm para ladrillo macizo, 20 cm para bloque cerámico hueco o 40 cm en tapias, esto para reducir la conductividad térmica y alcanzar mejores niveles de aislamiento en interiores.

En este contexto, se puede afirmar que la opción del sistema B-Pallets como muro para espacios habitables ofrece un nivel de confort térmico incluso mejor que el que proporciona un muro de materiales tradicionales, por lo que se constituye en una alternativa totalmente viable de emplear.

Como se ha podido evidenciar hasta este punto, son varios y significativamente positivos los avances obtenidos en el desarrollo técnico de este proyecto, con niveles de factibilidad ejecutiva bastante logrables para las condiciones de los contextos sociales en los que se ha planteado inicialmente.

A pesar de presentar resultados positivos, hasta el momento son varios los aspectos que deben seguir estudiándose para llegar a un nivel óptimo de

desarrollo técnico. Finalmente, como complemento de este tema, se realizó un análisis de la normativa existente para determinar qué pruebas habrían de realizarse, tomando en cuenta las características estructurales y de materiales empleados en el sistema B-Pallets.

En la siguiente tabla se enlistan las normas, tomando en cuenta la propiedad que evalúan, el método, el objetivo a medir y por último una nota comentando si es aplicable o no al sistema B-Pallets. Se identifica en el caso de la ASTM C177-97. *Método estándar de prueba para los materiales de conductividad térmica a través de la placa caliente guardada* y la NMX-C-460-onnce-2009. *Industria de la construcción aislamiento térmico valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana especificaciones y verificación*, que son pruebas ya realizadas a los especímenes construidos del sistema B-Pallets.

Tabla 4. Análisis comparativo de normas

ASTM C518-91. (s/f). Método estándar de prueba para los materiales de conductividad térmica a través de la placa caliente guardada.			
Propiedad	Método	Objetivo	Nota
Flujo de calor	La muestra se coloca en unas placas y con un medidor se determina cuál es el flujo de calor.	Medición de la conducción térmica en estado estacionario.	Requiere muestra cuadradas de 250 mm, 300 mm o 500 mm y espesor máximo de 75 mm. No aplica.
ASTM C177-97. (s/f). Método estándar de prueba para los materiales de conductividad térmica a través de la placa caliente guardada.			
Propiedad	Método	Objetivo	Nota
Confort térmico	La muestra se calienta y se rodea con una guarda, controlada por termopares diferenciales.	Mide las propiedades de los materiales aislantes en sistemas que trabajan a temperatura ambiente, a altas temperaturas (más de 900°C) y a bajas temperaturas (-180°C).	Aplicable
Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-2011. Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba.			
Propiedad	Método	Objetivo	Nota
Densidad Aparente	NMX-C-125-0NNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes de fibras minerales-determinación del espesor y densidad	Establece los métodos de ensayo para la determinación de espesor y la densidad de los materiales termoaislantes de fibras minerales que pueden tener la presentación de colchonetas armadas, rollos y placas afelpadas con o sin recubrimiento superficial o reforzado.	Aplicable

Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-2011. Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba.

<i>Propiedad</i>	<i>Método</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Nota</i>
Conductividad térmica	NMX-C-126-ONNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes en forma de bloque o placa-determinación de las dimensiones y densidad	Establece el método de ensayo para la determinación de las dimensiones y la densidad de materiales termoaislantes en forma de bloque o placa con caras planas y lados paralelos.	Aplicable
	NMX-C-213-ONNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes-determinación de la densidad de termoaislantes sueltos utilizados como relleno	Establece el método de ensayo para la determinación de la densidad de termoaislantes sueltos utilizados como relleno. Se pueden determinar otras propiedades físicas de materiales sueltos con esta densidad.	Aplicable
	NMX-C-258-ONNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes granulares sueltos utilizados como relleno-determinación de la densidad	Establece el procedimiento para determinar la densidad de materiales granulares sueltos de origen mineral no metálico utilizados como relleno, tales como perlita expandida, vermiculita y otros similares utilizados como materiales termoaislantes sin compactación.	Cualquier grado de compactación que se efectúe debe informarse. Aplicable.
	NMX-C-181-ONNCE-2010	Establece el método de ensayo para determinar la transmisión térmica de los materiales termoaislantes en estado estacionario utilizando un medidor de flujo de calor. Este método de ensayo aplica a materiales termoaislantes de composición homogénea de fabricación nacional, así como de importación que se comercialicen en territorio nacional.	Este método está limitado a especímenes cuya resistencia térmica sea mayor de 0,10 Km ² W-1 en todas direcciones. Aplicable
	NMX-C-189-ONNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes-determinación de la transmisión térmica (aparato de placa caliente aislada)	Establece el método de ensayo para la determinación de la transmisión térmica de los materiales termoaislantes en estado estacionario utilizando un aparato calefactor de placas aisladas. Este método está limitado a especímenes cuya resistencia térmica sea mayor de 0,017K m ₂ W-1 en todas direcciones.	Aplicable
Permeabilidad al vapor de agua	NMX-C-210-ONNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes-determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua	Establece los métodos para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua de la permanencia al vapor de agua y de la permeabilidad al vapor de agua de materiales termoaislantes.	Estos métodos están previstos para ensayos de materiales termoaislantes que tengan un espesor de 3 mm a 80 mm. No aplica.
Absorción de la humedad y absorción de agua	NMX-C-228-ONNCE-2010 Industria de la construcción-materiales termoaislantes-determinación de la adsorción de humedad y absorción de agua	Establece los métodos de ensayo para determinar la adsorción de humedad y la absorción de agua en materiales termoaislantes.	No aplica para materiales con recubrimiento. No aplica.

NMX-C-460-ONNCCE-2009. Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana-especificaciones y verificación			
Propiedad	Método	Referente internacional	Nota
Aislamiento térmico	Esta Norma establece las especificaciones de resistencia térmica total (Valor "R") que aplican a las envolventes de las viviendas para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para acondicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del estado en que se ubique.	ISO 10456: 2007 Materiales y productos de construcción. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados y procedimientos para determinar los valores térmicos declarados y de diseño.	Aplicada

Fuente: elaboración propia.

Reflexiones finales y retos de escalabilidad

Llegado este momento es posible asumir ciertas consideraciones y construir un posicionamiento respecto a la factibilidad técnica y social del sistema constructivo B-Pallets. Si bien su implementación en el contexto original se sustenta gracias a los materiales locales y los saberes tradicionales del lugar, su aplicabilidad en otros contextos requiere una evaluación cuidadosa debido a diversos condicionantes y desafíos específicos.

En este sentido, las condiciones climáticas variables de regiones distintas pueden afectar el comportamiento térmico y la durabilidad de los materiales empleados en el sistema, especialmente en ambientes con alta humedad o temperaturas extremas, lo que podría comprometer el aislamiento y la integridad estructural. Asimismo, la correcta aplicación y desempeño dependen en gran medida del conocimiento técnico y artesanal en el manejo de materiales naturales y procesos tradicionales implementados en el sistema. Por tanto, la capacitación y transferencia tecnológica a nuevos usuarios resulta fundamental para evitar deficiencias constructivas que puedan surgir en contextos urbanos o regiones con menor experiencia en estas técnicas.

El análisis del proceso constructivo ha demostrado que la estructura de madera reciclada, reforzada adecuadamente con duelas y polines que rigidizan el sistema y preparan los vanos para recibir marcos y contramarcos, permite modularidad y versatilidad en la construcción de muros. Asimismo, las experiencias prácticas y los talleres vivenciales con estudiantes

resultaron fundamentales para evaluar formulaciones adecuadas de revocos a base de tierra, cal y fibras naturales, que optimizan el comportamiento térmico y mecánico de los acabados al rellenar las discontinuidades del entramado y proporcionar superficies regulares, resistentes y con mínima contracción al secado.

Desde una perspectiva ambiental y social, este enfoque retoma el redescubrimiento de materiales naturales y su aplicación en sistemas constructivos innovadores, lo que responde a la creciente inquietud mundial sobre la sustentabilidad en la industria de la construcción. En contraste con los materiales y procesos industriales lineales —caracterizados por elevados impactos ambientales y generación significativa de residuos—, el sistema B-Pallets propone un modelo circular, donde los sobrantes y materiales reciclados se integran al ciclo constructivo, reduciendo la huella ecológica y promoviendo prácticas de autoconstrucción con tecnologías intermedias.

Además de los resultados positivos alcanzados, es indispensable continuar con el estudio y la evaluación técnica del sistema para alcanzar niveles óptimos de desarrollo y confiabilidad. En este sentido, se revisaron diversas normas nacionales e internacionales cuyo cumplimiento orientará las pruebas técnicas necesarias para la certificación y validación del sistema B-Pallets, tomando en cuenta sus características estructurales y de materiales. Particular atención se ha puesto en las normas ASTM C177-97 y NMX-C-460-ONNCCE-2009, ya aplicadas en las primeras pruebas, y se plantea complementar con otras, como la ASTM C518-91, cuya aplicación es evaluada críticamente en función de las dimensiones y características específicas del sistema.

Finalmente, la singularidad de los factores estructurales como acciones sísmicas, cargas de viento o agentes biológicos propios de otras geografías, demandan adecuaciones específicas en el diseño y materiales para asegurar la resistencia, durabilidad y funcionalidad del sistema en nuevos entornos.

En conclusión, la aplicación del sistema B-Pallets en contextos distintos al original implicaría algunos ajustes técnicos, sociales y normativos para mantener su potencial como alternativa sustentable en construcción. Esta reflexión abre oportunidades para líneas futuras de investigación y desarrollo orientadas a su adaptación e incorporación amplia, respetando los principios de economía circular, resiliencia y sustentabilidad que fundamentan

el proyecto original. La continuidad de las investigaciones y el trabajo colaborativo con instituciones académicas y actores sociales serán clave para consolidar su implementación y escalabilidad en diversos contextos habitables.

Referencias

- Arancibia, P. (2013). *Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/21903/>
- ASTM C177-97. (s/f). *Método estándar de prueba para los materiales de conductividad térmica a través de la placa caliente guardada*. American Society for Testing Materials (ASTM).
- ASTM C518-91. (s/f). *Método estándar de prueba para los materiales de conductividad térmica a través de la placa caliente guardada*. American Society for Testing Materials (ASTM).
- ASTM E220-07a. (2019). *Standard Test Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques*. American Society for Testing Materials (ASTM).
- Cuitiño Rosales M. G, Rotondaro, R. y Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 22(1), 138-151. <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348>
- ISO 10456:2007. (2007). *Building materials and products —Hygrothermal properties— Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*. Organización Internacional de Normalización. <https://www.iso.org/standard/40966.html>
- Muñoz, N., Thomas, L. y Marino, B. (2015). Comportamiento térmico dinámico de muros típicos empleando el método de la admitancia. *Energías Renovables Y Medio Ambiente (ERMA)*, 36, 31-39. <http://www.ekeko.org/ojs8/index.php/ERMA/article/view/125>
- NMX-C-460-ONNCCE-2009. *Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana-especificaciones y verificación*. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5105784
- NOM-020-ENER-2011. *Eficiencia energética en edificaciones. -Envolvente de edificios para uso habitacional*. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011#gsc.tab=0