

INTRODUCCIÓN EN EL CONTEXTO PERUANO DE UN NUEVO SISTEMA CONSTRUCTIVO CON MADERA Y TIERRA ALIVIANADA

Giuseppina Meli¹, Silvia Onnis², Martín Wieser³

Departamento de Arquitectura - Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP

¹gmeli@pucp.edu.pe; ²sonnis@pucp.pe; ³mwieser@pucp.pe;

Palabras clave: sistema mixto, tierra, prefabricación, desarrollo sostenible.

Resumen

Las soluciones constructivas contemporáneas con las que se pretende enfrentar el enorme déficit cualitativo y cuantitativo de viviendas en el Perú se limitan casi exclusivamente al ladrillo y al concreto armado. El objetivo suele ser la reducción de costos, en detrimento de temas como el confort térmico o el impacto ambiental de las construcciones. Resulta necesaria la incorporación de soluciones innovadoras, que puedan ofrecer construcciones económicas, confortables y sostenibles. La presente investigación, parte del proyecto “Sistema constructivo con estructura de madera y cerramientos en tierra alivianada”, financiado por Sencico-Fondecyt-PUCP, se propone este objetivo. Se presenta el proceso de concepción y diseño de un nuevo sistema constructivo en madera y tierra alivianada que garantice su factibilidad y éxito de aplicación en el territorio peruano. Las características de dicho sistema han sido determinadas a partir del estudio de las condicionantes propias del contexto. Se ha estudiado y sistematizado informaciones relativas a: estado del arte sobre sistemas mixtos de madera y tierra en ámbito nacional e internacional, estudio de materias primas disponibles en el territorio peruano, capacidades productivas de las empresas, entre otros. A partir de estas condicionantes, se han identificado los requisitos constructivos, estructurales y térmicos del sistema a desarrollar, en el específico para la costa peruana. Finalmente, se ha diseñado el nuevo sistema constructivo y el proceso de su prefabricación, puesta en obra, instalación y acabados. Se presenta el diseño de un nuevo sistema mixto que representa una válida alternativa para la construcción de viviendas económicas, sostenibles, sismo-resistentes y confortables. También se presenta el proceso constructivo relacionado, adaptado al caso de la pequeña empresa.

1 INTRODUCCIÓN

El Perú presenta un enorme déficit de viviendas y de equipamientos, siendo el tercer país de Latinoamérica con el déficit de vivienda más alto: 1.800.000 viviendas. El déficit está relacionado tanto al componente cuantitativo como al cualitativo de la construcción, donde el cualitativo se evidencia aún más en las zonas rurales (INEI, 2017). Las soluciones constructivas actualmente en uso para enfrentar el problema se han limitado al uso casi exclusivo de ladrillo y concreto, y en caso de respuestas a desastres las soluciones se reducen a módulos compuestos por bastidores de madera, paneles de fibrocemento o triplay y techo de plancha de zinc. Estas soluciones carecen de calidad constructiva: no toman en cuenta el confort del usuario ni el impacto ambiental de los procesos constructivos relacionados, por lo cual resultan a lo largo soluciones no sostenibles. Debido al uso indiferenciado de materiales respecto a las exigencias climáticas, el interior de la vivienda se encuentra térmicamente descontrolado, resultando muchas veces inhabitable.

Sin embargo, se considera que no es posible enfrentar el problema del déficit de vivienda en nuestro país desde la perspectiva de un limitado número de alternativas constructivas, sobre todo considerando la gran variedad de contextos naturales y climáticos presentes en el territorio peruano (Wieser, 2011).

Deben concebirse y construirse edificios que, sin renunciar al bajo costo, ofrezcan una estructura sismo-resistente, generen un bajo impacto en el medio ambiente y provean un adecuado confort térmico a sus ocupantes.



Figura 1. Viviendas del programa Techo Propio en ladrillo y concreto (Agencia peruana de noticias, agosto 2017). A la derecha, un módulo para damnificados del fenómeno El Niño Costero del 2017 en Piura (Redacción El Comercio, noticia de mayo 2017).

Se considera que las técnicas constructivas mixtas, que aprovechan de la capacidad sismo-resistente de la madera y del alto nivel de aislamiento térmico y acústico de la tierra alivianada (TA), puedan representar una válida opción para enfrentar el problema expuesto. Se trata de materiales históricamente presentes en la técnica constructiva tradicional del territorio peruano, y ambos son materiales naturales, renovables, cuya fabricación y transporte requieren una cantidad reducida de energía gris.

En la búsqueda de alternativas constructivas con madera y tierra se pueden considerar varias posibilidades: (a) la recuperación de las técnicas tradicionales mejoradas, (b) la validación de técnicas constructivas actualmente en uso en el extranjero o (c) el estudio de nuevos sistemas adaptados a los contextos locales.

En cuanto al mejoramiento de las técnicas tradicionales, el Perú es un referente en la mejora de la sismo-resistencia de la quincha (Kuroiwa, 1991; Arriola; Tejada, 2008; Tejada, 2017; entre otros), y en otros países los paneles prefabricados peruanos son la base para el mejoramiento térmico y acústico (Vacacela, 2015). En el ámbito nacional, se ha demostrado que se puede mejorar el desempeño térmico de la quincha prefabricada con el uso de materiales naturales aislantes como la totora y la tierra alivianada (Wieser; Onnis; Meli, 2018). A pesar de los buenos resultados alcanzados en varias investigaciones, en la actualidad la quincha mejorada no es una alternativa competitiva en el Perú, por una serie de factores, que van desde la falta de mano de obra especializada, al uso de materiales no estandarizables como las cañas, al bajo nivel de mecanización del proceso, entre otros.

Ejemplos de sistemas constructivos tradicionales mejorados son los que surgen de la necesidad de encontrar un método de construcción rápido, simple y barato en respuesta a los terremotos u otros desastres naturales: son los casos de Chile y Haití (Sieffert et al, 2017).

En otros países de Latinoamérica (Chile, Uruguay, Argentina, México) parece haber un mayor interés por estructuras en madera portante con cerramientos de tierra alivianada, desarrolladas a partir de ejemplos vernáculos o introducidas del exterior (Minke, 2008; Placitelli, 2016). En algunos países de Europa (Alemania, Francia) son utilizadas desde hace tiempo de forma moderna y conforme a las normativas nacionales (Marcom, 2011; Volhard, 2016), logrando un buen desempeño térmico y acústico e introduciendo elementos prefabricados. La aplicación de estos ejemplos en nuestro territorio debería ser oportunamente evaluada desde el punto de vista del funcionamiento sísmico.

En la presente investigación se considera la posibilidad de estudiar un nuevo sistema constructivo a partir del estudio de las condicionantes propias del contexto territorial.

2 OBJETIVOS

Se pretende desarrollar un sistema constructivo compuesto por una estructura de madera portante y cerramiento de tierra alivianada. Se trata de proponer una opción sostenible, sismo-resistente, térmicamente confortable y de bajo costo, que se convierta en una alternativa constructiva válida y aplicable al contexto peruano.

El artículo presenta el proceso de concepción y diseño del nuevo sistema constructivo mixto.

3 METODOLOGÍA

Se presenta la metodología utilizada para llegar a la concepción del nuevo sistema mixto de madera y tierra alivianada.

Desde la formulación del proyecto, se ha pensado que el sistema mixto tenga que responder a unos requisitos imprescindibles, tales como: sostenibilidad de la construcción, sismo-resistencia, confort del usuario y costo bajo o reducido. Después de la fase de (1) investigación y sistematización de conocimientos, el equipo ha reflexionado y debatido largamente sobre los requisitos para que el sistema propuesto sea innovador en el contexto de la construcción actual y capaz de responder a la problemática planteada. Una vez completada la (2) identificación de tales requisitos, se ha pasado a la (3) concepción y diseño del sistema constructivo. La fase de diseño se ha desarrollado en paralelo con la (4) experimentación constructiva, el (5) estudio del desempeño térmico y el (6) estudio del comportamiento estructural y sísmico. Esta última fase, a completarse en junio del 2019, terminará de definir y validar el nuevo sistema constructivo.

En seguida se describen las diferentes fases del proceso.

3.1 Investigación y sistematización de conocimientos

Para identificar las condicionantes del contexto en examen, se han desarrollado los siguientes estudios:

- Estado del arte
- Materias primas presentes en el territorio peruano
- Zonas y ámbitos de aplicación
- Normas y ensayos

El estado del arte presenta un panorama de los sistemas mixtos que pueden ser utilizados como referentes en la investigación. Se ha estudiado varios ejemplos, en Europa, Asia y América Latina desde la antigüedad a nuestros días, privilegiando el estudio de sistemas propios de áreas sísmicas.

En los ejemplos estudiados, la estructura de madera cumple con la función portante, dejando el papel de cerramiento a “rellenos” realizados con materiales como piedra, tierra, o técnicas de entramado vegetal con revestimiento de tierra. Los ejemplos han sido analizados mirando a: conformación de la estructura de madera, tipo de relleno, aprovechamiento de materiales disponibles, respuesta a los sismos y relación entre las características constructiva y las fallas producidas. Finalmente, se han analizado los estudios estructurales existentes sobre las técnicas mixtas, considerando los ensayos de laboratorio en aquellos en los que se realizaron.

Gracias al presente estudio se ha recopilado igualmente un catálogo de sistemas mixtos, que ha permitido ordenar y sistematizar una gran variedad de posibilidades constructivas.

Generalizando, se puede decir que las mayores ventajas del sistema mixto residen en la disponibilidad de recursos, la rapidez en la construcción, la ligereza, la resistencia a los sismos y mejores prestaciones térmicas. Se ha notado que en las zonas en las que existe una mayor presencia de sistemas mixtos hay una cierta continuidad en el uso, que se remonta a épocas prehistóricas y evoluciona como respuesta a eventos naturales (sismos) gracias al aporte de nuevos conocimientos (dominaciones, migraciones) y a la introducción de nuevos materiales o conocimientos (manuales, estudios científicos).

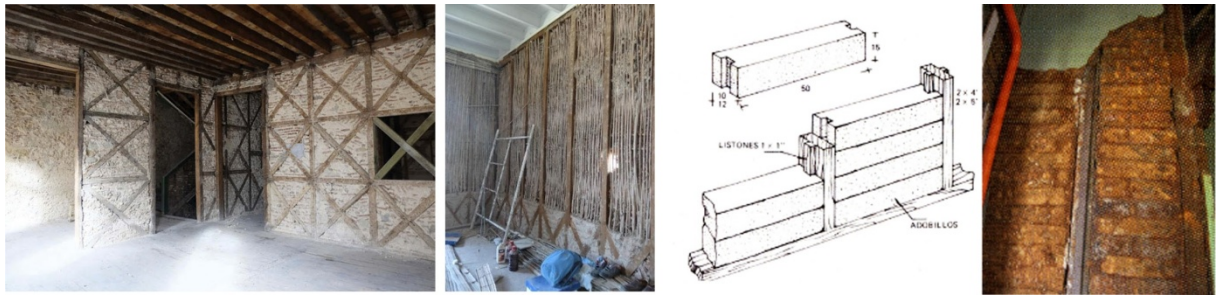


Figura 2. Desde la izquierda hacia la derecha: vista interior del sistema pombalino (Stellacci; Ruggieri; Rato, 2016). Casona Calle Tacna en Barranco (crédito: T. Montoya, 2014). Detalle de la colocación del bloque adobillo (Guzmán, 1976) y fotos del tabique (Jorquera; Cisterna, 2017).

Se han estudiado las materias primas de origen natural, presentes en el territorio peruano: madera nacional para la estructura portante, fibras vegetales y tierra para la realización de cerramientos de tierra alivianada. A fin de garantizar un acceso rápido a las informaciones recopiladas, se ha elaborado un catálogo de fichas que resumen las principales características y propiedades, el uso común, las ventajas y desventajas en la utilización de las materias primas. Las fichas de maderas han considerado especies nacionales que cumplen con las características exigidas por la normativa nacional (Norma E.010, 2008). Las fichas de fibras vegetales están acompañadas con un mapa de disponibilidad del recurso en el territorio nacional.



Figura 3. Balas de paja (crédito: A. Gallardo); fichas para elaboración de la TA (elaboración propia, 2018); disposición de fibras naturales aptas para la construcción (elaboración propia, 2018).

Para poder analizar dos o más aspectos y datos en conjunto e identificar de esta forma las zonas y ámbitos de aplicación del sistema propuesto en el territorio nacional se utiliza el método de la superposición de informaciones georreferenciadas (SIG). A partir de la sismicidad del territorio (Norma E.030, 2018), la clasificación climática (Norma EM-110, 2014), la distribución de los recursos naturales aprovechables (madera proveniente de bosques certificados y fibras naturales de desechos agrícolas) y a la difusión de las técnicas constructivas tradicionales, se cruzan informaciones y se elaboran nuevos mapas a fin de facilitar la identificación de recursos locales apropiados en relación a la mano de obra especializada o a las exigencias climáticas y el tipo de fibra disponible. En la definición de los ámbitos de aplicación, se considera que el sistema representa una opción válida para la construcción de viviendas particulares, programas de viviendas de interés social, módulos de viviendas post desastre, equipamientos, segundos pisos de casas en adobe o tapial reforzado en zonas sísmicas 2 y 3 (Norma E.080, 2017).

Finalmente, se han identificado los ensayos a realizarse para validar los materiales y el sistema constructivo en estudio, consultando la normativa técnica nacional, internacional y la literatura especializada. Por lo que concierne a la estructura en madera, un especial referente es constituido por los estudios desarrollados a partir del terremoto de Huaraz (1970), desde el cual se emprendió un estudio sistemático (UNI, PUCP, ININVI) para comprobar y mejorar el comportamiento frente a los sismos de la quinchina prefabricada. Todas estas investigaciones permitieron que el sistema de la quinchina prefabricada fuera incorporado oficialmente como un Sistema Constructivo No Convencional en el año 1987 de acuerdo con la R.D. N.° 001-84-VC-9602 (Piscote Peña, 1992 entre otros).

3.2 Identificación de requisitos del nuevo sistema mixto

A partir del análisis de informaciones recopiladas durante los estudios previos se han definido los requisitos que el nuevo sistema constructivo debe poseer: prefabricación, diseño modular, flexibilidad constructiva, construcción en seco. Estos se suman a los que han sido planteados en la fase de proyecto: sostenibilidad, sismo-resistencia, bajo costo y confort térmico.

Se apunta a que el sistema mixto propuesto sea prefabricado. Se piensa organizar la obra de forma que la estructura de madera y los elementos en tierra alivianada se puedan fabricar en taller y transportar a su posición definitiva para el montaje. Las fases de prefabricación en taller y de armado serán simples y rápidas, demandando tiempos cortos y menor trabajo a pie de obra.

Para facilitar las operaciones de diseño, prefabricación y construcción se decidió que el sistema mixto propuesto responda a un diseño modular, tanto en la configuración de los espacios, como en la concepción de los detalles constructivos.

Se pretende proponer un sistema mixto flexible, cuyos elementos constructivos se adapten a las diferentes necesidades del usuario. Por flexibilidad se entiende la capacidad del sistema de adecuarse a cambios debidos a exigencias funcionales (tamaño del espacio, variaciones dimensionales como el entre-eje de las columnas o la dimensión de los vanos, entre otros), constructivas (cambios de materiales con las mismas funciones) o de proceso (cambios en el nivel de prefabricación según el contexto). Dichos cambios no deberán afectar el funcionamiento del sistema constructivo.

La construcción en seco permite la reducción de los tiempos de puesta en obra. Se apuntará a la realización en seco del mayor número de operaciones.

Además, se estudiarán los acabados de forma que se pueda obtener un nivel de calidad de los espacios interiores y exteriores, considerando también la integración de las instalaciones eléctricas y sanitarias.

3.3 Concepción y diseño de la propuesta

Se han diseñado varias propuestas de sistema constructivo, concebidas según la conformidad a los requisitos previamente definidos, con variaciones respecto a la estructura de madera, al proceso constructivo y a la colocación de los elementos en TA, identificando tres posibles soluciones.

Las tres soluciones consisten en:

1. sistema constructivo con paneles modulares acoplados, en el marco de la tradición de los estudios del mejoramiento de la quincha,
2. entramado de madera relleno con elementos prefabricados,
3. estructura formada por elementos compuestos de madera, con elementos prefabricados atornillados a la estructura.

Se eligió finalmente la tercera opción en la medida que respondía mejor a los requisitos planteados y por su mayor nivel de innovación.

Se respetará el Reglamento Nacional de Edificaciones por lo que concierne a la estructura en madera (Norma E.010, 2008), la construcción con tierra (Norma E.080, 2017), la sismo-resistencia de la estructura (Norma E.030, 2018) y el confort térmico (Norma EM 110, 2014).

3.4 Experimentación constructiva

En el estudio constructivo del sistema propuesto se pretende explorar la técnica constructiva a través de la experimentación en campo en escala real, realizados en el terreno de experimentación del Grupo de Investigación Centro Tierra.

La investigación se desarrolla por fases:

- la prefabricación de elementos en TA,
- la construcción en escala 1:1 de la propuesta (muro en L) en todas sus partes, acompañada por el análisis en detalle conlleva a recomendaciones y pautas para la mejora del proceso.



Figura 4. Experimentación constructiva (crédito: Archivo de proyecto, 2018).

En la experimentación se utilizan maquinarias para trabajar la tierra (mezcladora de trompo, mezcladoras de mano) y equipos para el corte de la madera. Se quiere explorar la posibilidad que estas herramientas brindan en mecanizar o semi-mecanizar los procesos constructivos y la fabricación de los elementos en tierra alivianada, buscando la reducción de costos y tiempos de obra. Finalmente se pretende indagar sobre la posibilidad de modernizar los procesos constructivos de elementos de tierra, que en el Perú están relacionados al mundo de la autoconstrucción en el campo.

La prefabricación de elementos en TA se ha desarrollado en diferentes fases. Las pausas entre las varias fases han permitido esperar los tiempos de secado (21 días) y evaluar los resultados en cuanto a peso y densidad, reflexionar sobre los defectos del proceso productivo y su mejoramiento.

3.5 Estudio del desempeño térmico

Se ha estudiado la conductividad térmica de los elementos producidos, gracias a la medición en laboratorio de 3 series de 3 probetas de diferente densidad (600, 800 y 1000 kg/m³). Los resultados, que aportan conocimientos a las anteriores investigaciones en la definición de la relación entre densidad y conductividad del material TA, son utilizados para la simulación térmica con el software Design Builder, lo que permitirá a su vez el dimensionamiento del espesor de la envolvente en función de la rigurosidad del clima. Los resultados de laboratorio han confirmado una vez más las excelentes prestaciones de aislamiento térmico de la TA, más aún cuando la densidad de la misma es menor. Los valores han oscilado entre los 0,113 y 0,150 W/m×K para mezclas de 600 y 800 kg/m³ respectivamente.

Para el diseño del sistema constructivo, a fin de mejorar la calidad y el confort interior, se han tomado en cuenta las estrategias bioclimáticas sugeridas para la zona en estudio por los autores más renombrados en estos temas como Olgyay (2016), Givoni (1998) o Szokolay (2014): los autores coinciden en indicar la masa térmica y el aislamiento, además de la sombra y de la ventilación controlada como las estrategias pasivas más importantes a considerar.

3.6 Estudio del comportamiento estructural y sísmico

El sistema construido será ensayado en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, a fin de validar la propuesta para el diseño y validación de un módulo a ensayar en mesa vibradora. Se ha previsto la realización de un ensayo cíclico (realizada en marzo 2019) y un ensayo dinámico en mesa vibradora.

4 RESULTADOS

El principal resultado es la identificación de un nuevo sistema constructivo y el proceso constructivo correspondiente.

4.1 El sistema constructivo mixto propuesto

El sistema propuesto está formado por los siguientes componentes: estructura de madera, cerramiento de elementos prefabricados en TA, estructura auxiliar o de refuerzo, revestimiento y acabados.

La estructura de madera de la propuesta toma su punto de partida en ejemplos citados en la bibliografía (Marcom, 2011), adaptados a las exigencias del nuevo sistema constructivo. Está formada por un entramado de madera, compuesto por piezas de diferentes secciones y funciones:

- muerto compuesto, que funciona de conexión entre la cimentación y la estructura de madera,
- pies derechos corriente (2 piezas) puestos a distancia de 80-90 cm,
- pies derechos de esquina (4 piezas), posicionados en los encuentros de muro (encuentros en L, en T, en X),
- travesaños horizontales, con entre-eje de 45 cm. Sirven para rigidizar la estructura y a la vez para poder fijar los elementos en tierra alivianada,
- viga collar,
- estructura de techo.

Las dimensiones de las piezas han sido definidas gracias a la experimentación en campo y en laboratorio, por razones constructivas y de cálculo. Serán validadas definitivamente después del ensayo en mesa vibradora.

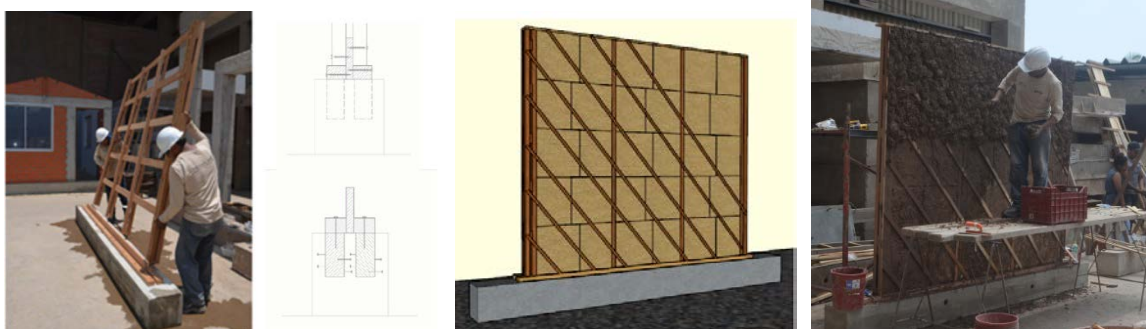


Figura 5. Sistema constructivo mixto propuesto (Archivo de proyecto, 2018).



Figura 6. Atornillado de elementos en tierra alivianada en panel de quinchá (crédito: Archivo Proyecto Quinchá, 2018). Atornillado de elementos en TA en el sistema propuesto (crédito: Archivo de proyecto, 2019).

Sobre los elementos en TA, la literatura especializada reporta varios casos de utilización de la tierra alivianada en seco, en bloques o paneles de varias dimensiones, utilizados como cerramiento y/o aislamiento térmico y acústico. Los elementos secos en tierra alivianada han sido experimentados en proyectos anteriores por los autores (Wieser; Onnis; Meli, 2018). Los resultados obtenidos fueron alentadores y el equipo decidió retomar la experimentación de los elementos para el nuevo sistema constructivo. En la presente investigación se han logrado producir elementos en serie con una densidad promedio de 600 kg/m^3 , reduciendo durante la fase de experimentación el rango de densidad en una misma serie de producción (40 elementos/día).

Finalmente, se utiliza una estructura auxiliar de contención constituida por elementos delgados de madera, que evite el desplazamiento de los elementos en tierra durante el sismo y contribuyan a rigidizar la estructura. Ejemplos de estructura auxiliar en madera se encuentran en general en la tradición constructiva del bajareque, del adobillo chileno, y de ejemplos de quinchá y bajareque contemporáneo, entre otros.

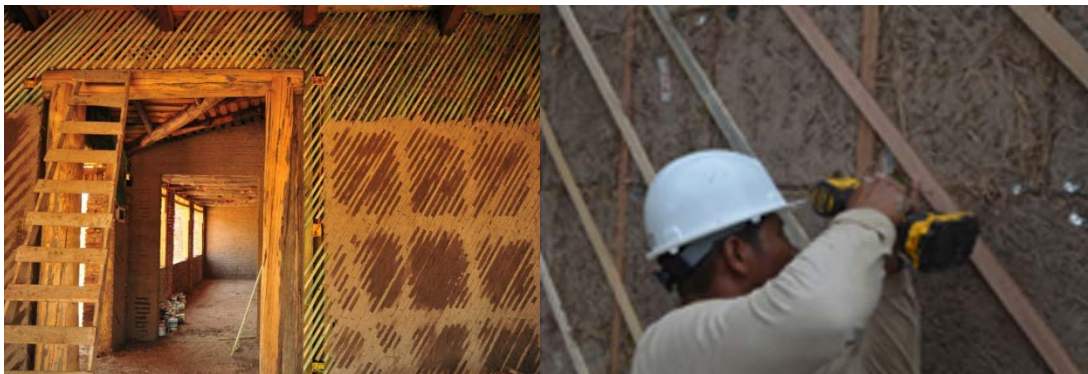


Figura 7. A la izquierda, ejemplo contemporáneo de contención con madera (fuente: www.archdaily.pe); a la derecha, colocación de diagonales en el sistema propuesto (fuente: Archivo del Proyecto, 2019).

4.2 Propuesta de proceso constructivo

El proceso será conformado por las siguientes fases:

1. Prefabricación:
 - a. Prefabricación de piezas de madera (estructura y diagonales): los elementos en madera (columnas, travesaños, muerto, viga etc.) deben ser pensados para que sean fácilmente ensamblados y que a su vez permitan que la estructura se arme en pocos pasos.
 - b. Prefabricación de elementos en tierra alivianada: los elementos en tierra alivianada se deben poder producir en serie, utilizando herramientas útiles para la semi-mecanización del proceso de producción. Lo que se busca garantizar es fabricar elementos homogéneos, que tengan la mismas características de resistencia, peso y que garanticen un adecuado aislamiento térmico y acústico.
 - c. Premezclado de revestimientos y enlucidos en tierra: la construcción prevé cierto grado de aplicación en húmedo (revestimientos y acabados en tierra). Los componentes se pueden mezclar en seco y almacenar en sacos, evitando errores y tiempos largos en fase de construcción.
2. Transporte: de un kit de piezas que sea fácil de transportar, ligero y que ocupe poco espacio.
3. Montaje: todas las fases de la construcción debe ser pensadas para que sean rápidas, simples y amigables, incluso para la mano de obra no especializada.
4. Instalaciones eléctricas y sanitarias.
5. Revestimientos y acabados

5 CONSIDERACIONES FINALES

El sistema constructivo presentado está actualmente en la fase de validación estructural (ensayo en mesa vibradora). En la siguiente fase se diseñará y construirá un módulo habitable para el contexto de la costa peruana, compuesto de tres ambientes y de aproximadamente 25 m². En esta ocasión se terminará de definir el proceso constructivo (organización de la obra, tiempos y costos, etc.). Una vez completada la obra, se instalarán aparatos de medición higo-térmica para poder comprobar el desempeño térmico de la vivienda propuesta y se hará un seguimiento posterior para verificar la durabilidad y la resistencia de los componentes a la intemperie. Se elaborará el expediente técnico final y se sistematizarán las informaciones adquiridas en un manual de la técnica validada.

Con los resultados alcanzados hasta la fecha, se puede afirmar que el sistema constructivo tiene un buen funcionamiento desde el punto de vista constructivo y del proceso. A parte de la validación estructural y térmica, consideramos que se deberán encontrar a futuro espacios de difusión para medir su aceptación en el mundo de la construcción: constructores, técnicos, profesionales, usuarios. Se está pensando en la organización de un taller de formación con personal de Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y en la participación en ferias constructivas organizadas en el País.

Por el momento se está analizando el caso de la pequeña y mediana empresa en lo que concierne a la prefabricación y la construcción, pero se considera a futuro estudiar el caso de la prefabricación a una escala mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriola Vigo, V.; Tejada Schmidt, U. (2008). Manual de quinchá prefabricada para maestros de obra. Lima: CIDAP.
- Givoni, B. (1998). Climate considerations in building and urban design. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Guzmán, E. (1976). Curso elemental de edificación. Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- INEI (2017). Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2016-2018. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Disponible en: https://webinei.inei.gob.pe/anda_inei/index.php/catalog/614
- Jorquera Silva, N.; Cisterna Olguín, R. (2017), El tabique-adobillo, una técnica sismorresistente de Valparaíso, en XII Congreso Mundial de las arquitecturas de tierra, Lyon. Villefontaine: Editions CRATerre.
- Kuroiwa, J. (1991). Quinchá modular prefabricada. Lima: CISMID.
- Marcom, A. (2011). Construire en terre-paille. Mens: Terre Vivante.
- Minke, G. (2008). Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de Siglo.
- Norma E.010 (2008). Madera. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=170>
- Norma E.030 (2018). Diseño sismorresistente. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=4652>
- Norma E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>
- Norma EM.110 (2014). Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: http://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/04_EM/DS006-2014_EM.110.pdf
- Olgyay, V. (2016). Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gil

Piscote Peña, M. E. (1992). Estudio sísmico experimental de edificaciones mixtas de adobe y quincha de dos pisos.

Placitelli, C. (2016). Autoconstrucción ecológica con BTA (bloque de tierra alivianada). Verlag: Editorial Académica Española.

Sieffert, Y.; Daudon, D.; Grange, S.; Daudeville, L.; Vieux-Champagne, F.; Garnier, P.; Moles, O.; Belinga Nko'o, C.; Huygen, J.M. (2017). How the science collaboration of engineers and architects on local building cultures can make a vital breakthrough. France: Terra Lyon 2016.

Stellacci, S.; Ruggieri, N.; Rato, V. (2016), Gaiola vs. borbone system: a comparison between 18th century anti-seismic Case study. *International Journal of architectural heritage*, 10:6, 817-828

Szokolay, S. (2014). Introduction to architectural science: The basis of sustainable design. Oxford: Architectural Project

Tejada, U. (2017). Buena tierra. Apuntes para el diseño y construcción con quincha. Lima: CIDAP.

Vacacela Albuja, N. (2015). Paneles de bahareque prefabricado y aplicación a una vivienda. Tesis de grado. Ecuador: Universidad de Cuenca. Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23224>

Volhard, F. (2016). Construire en terre allégée. Actes Sud.

Wieser, M. (2011). Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: el caso peruano. Lima: Departamento Académico de Arquitectura, PUCP.

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2018). Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. 18° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, La Antigua Guatemala, Guatemala: USAC-CII/ PROTERRA. p. 199-208.

AGRADECIMIENTOS

Se quiere agradecer a Sencico, Fondecyt por darnos la posibilidad de desarrollar la presente investigación. Un agradecimiento especial a todos los que han participado activamente en la investigación: Julio Vargas Neumann, Germán Becerra, Paolo Marinelli, Silvana Loayza León, Vincent Juillerat, Cesar Cavalié, Kevin Rodríguez, Brigith Nuñez, los maestros de obra Raul Aliaga, Gabriel Gomez, todo el personal del Centro de Investigación de la Arquitectura y la Ciudad-PUCP, el personal de los Laboratorio de la PUCP (Laboratorio de Mecánica de Suelos; Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI; Laboratorio de Energía - LAB-EN).

AUTORES

Giuseppina Meli, arquitecta, docente y asistente de investigación en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Miembro del grupo Centro Tierra-PUCP; especializada en el Politécnico de Turín en "Hábitat, Tecnologías y Desarrollo".

Silvia Onnis, arquitecta, docente e investigadora en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); miembro fundador del grupo Centro Tierra-PUCP; fundadora de la asociación Manos a la Tierra, (Currículo completo en: <https://www.linkedin.com/in/silvia-onnis-b9745049/>)

Martín Wieser, doctor en energías y medio ambiente en arquitectura, magister en desarrollo internacional, arquitecto; docente e investigador en las facultades de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y de la Universidad Ricardo Palma; consultor en temas de climatización e iluminación natural en edificios.