

Design of an organic and vernacular rural healthy housing for poor people in the Amazon Region using Guadua bamboo packaging

Jhon Arizabal, Bachiller¹, Olenka Leyva, Bachiller¹, José Rodríguez, Doctor², Carlos Eyzaguirre, Ingeniero³

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201417935@upc.edu.pe; u201220146@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, jose.rodriguez@upc.pe

³Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, pcciceyz@upc.edu.pe

Abstract— Healthy housing promotes the health and well-being of its inhabitants, it is characterized by offering an adequate residential environment, this characteristic in rural areas is not considered when planning and building houses; These are located in dangerous areas, without design, with materials without quality, self-built, without maintenance, with inefficient sanitary and electrical facilities, without financing systems and without considering their poverty levels. These factors make it possible to increase the risk against physical and mental health. This study is located in the Puerto Bermudez District of the Peruvian Amazon, due to the absence of healthy homes, its 57% housing deficit and its poverty level; It is proposed to use the Guadúa bamboo, a species cultivated in the area to use it in the design of a healthy rural house with characteristics of organic and vernacular form and with construction techniques of packed bamboo and active flexion; the elaboration of a model of the designed single-family house; and the development of 3D printed prototypes of structural joints and connections.

Keywords—Healthy housing, bamboo guadua, Amazon, organic and vernacular construction, poor population

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.592>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Diseño de una vivienda saludable rural orgánica y Vernacular para pobladores en situación de pobreza de la Región Amazónica utilizando bambú Guadua empaquetado

Design of an organic and vernacular rural healthy housing for poor people in the Amazon Region using Guadua bamboo packaging

Jhon Arizabal, Bachiller¹, Olenka Leyva, Bachiller¹, José Rodríguez, Doctor², Carlos Eyzaguirre, Ingeniero³

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201417935@upc.edu.pe; u201220146@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, jose.rodriguez@upc.pe

³Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, pcciceyz@upc.edu.pe

Resumen - La vivienda saludable promueve la salud y bienestar de sus pobladores, se caracteriza por ofrecer un entorno habitacional adecuado, esta característica en las zonas rurales no es considerada cuando se planifica y construye viviendas; siendo éstas ubicadas en zonas peligrosas, sin diseño, con materiales sin calidad, autoconstruidas, sin mantenimiento, con inefficientes instalaciones sanitarias y eléctricas, y sin considerar sus niveles de pobreza; estos factores posibilitan el aumento de riesgo contra la salud física y mental. El presente estudio corresponde al Distrito de Puerto Bermúdez de la Amazonía Peruana, realizándose: el diseño de una vivienda rural saludable con características de forma orgánica y vernacular, y con técnicas constructivas de bambú empaquetado y de flexión activa; la elaboración de una maqueta de la vivienda unifamiliar diseñada; y el desarrollo de prototipos de uniones y conexiones estructurales impresos en 3D.

Palabras clave—Vivienda saludable, bambú guadua, Amazonía, construcción orgánica y vernacular, población pobre

Abstract— Healthy housing promotes the health and well-being of its inhabitants, it is characterized by offering an adequate residential environment, this characteristic in rural areas is not considered when planning and building houses; These are located in dangerous areas, without design, with materials without quality, self-built, without maintenance, with inefficient sanitary and electrical facilities, without financing systems and without considering their poverty levels. These factors make it possible to increase the risk against physical and mental health. This study is located in the Puerto Bermudez District of the Peruvian Amazon, due to the absence of healthy homes, its 57% housing deficit and its poverty level; It is proposed to use the Guadúa bamboo, a species cultivated in the area to use it in the design of a healthy rural house with characteristics of organic and vernacular form and with construction techniques of packed bamboo and active flexion; the elaboration of a model of the designed single-family house; and the development of 3D printed prototypes of structural joints and connections.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.594>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development" "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy", July 27-31, 2020, Virtual Edition. 1

Keywords—Healthy housing, bamboo guadua, Amazon, organic and vernacular construction, poor population

I. INTRODUCCIÓN

Diferentes organizaciones internacionales y gobiernos de estado manifiestan que los objetivos del desarrollo actual son: reducir la pobreza, lograr equidad en la salud y atender a los grupos excluidos [1]. En este sentido, [2] indica que estos objetivos deben orientarse hacia el desarrollo social y económico de la población, siendo el elemento clave la vivienda saludable; en este sentido, [3] indica que para el caso de la vivienda saludable urbana y rural, se requiere identificar las necesidades de la población según su entorno. En [4] se define la vivienda saludable como el espacio físico que, por su acceso a un entorno habitacional adecuado, la protección contra enfermedades, la reducción al mínimo de factores de estrés psicológico y la protección de poblaciones vulnerables, otorga condiciones para el desarrollo saludable de sus moradores; previniendo, reduciendo y mejorando las condiciones de salud mental y física. Al respecto, [5, 6] indican que esto se logra con buena ubicación y distribución de la vivienda y con la identificación de sus materiales. Entre las principales causas para la no implementación de una vivienda saludable es que las personas de bajos ingresos no cuentan con los medios económicos para acceder a ellas [7], y que los programas sociales dados por los gobiernos son muy limitados o de escasa difusión [8].

Los países en vías de desarrollo presentan un problema en común que es la falta de viviendas saludables, siendo Latinoamérica la región donde el problema se agudiza por: la severidad de los desastres debido a los fenómenos naturales, y por el alto costo de la reconstrucción [8]. Como ejemplos podemos mencionar América Latina, Caribe y África Sub-Sahariana; que, en el año 2018, tenían alrededor de 124.5 y 645 millones

de personas que vivían en las zonas rurales [9], de las cuales 86 y 580.5 millones carecen al menos de uno de los requisitos de una vivienda saludable [10]. En la zona rural de la África Sub-Sahariana, la malaria representa un grave problema, siendo sus principales causantes de su transmisión la escasa ventilación y las altas temperaturas de las viviendas [11]. A su vez, existe una estrecha relación entre el no contar con viviendas saludables y el origen de problemas mentales, siendo de gran importancia los materiales de construcción, el espacio utilizado y la distribución dentro de la vivienda, por ser aspectos importantes en el desarrollo de estrés [12].

Los beneficios que otorga la implementación de una vivienda saludable están relacionados con su enfoque, así tenemos que, para un ámbito multidimensional, su función es actuar como un eje articulador entre la erradicación de la pobreza y el desarrollo humano [13]; y para una población rural, mejorar las condiciones de salud de las personas, mantener los hábitos saludables y reducir al máximo los riesgos presentes [14] [15] [6]. Un claro ejemplo que ilustra este beneficio, se presenta en el África Sub-Sahariana que mediante sus propuestas implementadas se consiguió disminuir la transmisión de enfermedades por picaduras dentro de la vivienda, regular la temperatura, un mayor confort en la población [11]; y la reducción del 14% de la probabilidad de ser infectado por picaduras en la misma zona debido al cambio de material de construcción “tradicional” por uno más permeable, en este caso se utilizó el bambú [11].

Alrededor del mundo existen más de 1600 especies de bambú (*Bambusa Arundinaceae*) [16] distribuidas en 121 géneros [17], las cuales se cultivan en climas tropicales, subtropicales y climas templados [17, 18], de América, Asia, Oceania y África [17]. De todas las especies, 36 son del género *Guadua*, que es reconocida como la mejor especie utilizada en la construcción por su gran difusión en América, dimensiones y características mecánicas [18], destacando la familia *Guadua Angustifolia Kunt* por sus mejores cualidades físico-mecánicas [19]. El bambú se ha empleado mundialmente en diversas construcciones [20] por su disponibilidad y bajo costo, que lo hacen un motor importante en el desarrollo socio-cultural y económico del sector construcción [21]; su utilización en el diseño arquitectónico ha sido muy efectiva [20], pero su comportamiento estructural depende del lugar en donde crece, la edad, contenido de humedad y la sección que se utiliza. [3].

En el diseño de construcciones en arquitectura orgánica se lo utiliza por ser un material elástico [22] [20]; se busca que los edificios y su apariencia armonicen con la naturaleza, integrando su construcción al entorno para formar una composición unificada [23]. En este sentido, la arquitectura vernacular, utiliza la forma, materiales y técnicas constructivas locales en la construcción, contando con una fuerte influencia étnica [23]; un ejemplo de un diseño de muros divisorios y cubierta con arquitectura en forma orgánica y vernacular sería utilizar muro de quincha con bambú [24], [25] y tejamaniles con arcilla, arena y paja en la cubierta [24].

Existen algunas técnicas constructivas que garantizan la funcionalidad, alta resistencia y durabilidad del bambú en la construcción; destacando la flexión activa y el bambú empaquetado [20]. En la flexión activa, sus elementos son generados a partir de una deformación de la caña, la que produce momentos activos a lo largo del elemento que equilibran los requerimientos estructurales de la vivienda; en el bambú empaquetado, los elementos pueden generar mayores curvaturas que no se logran con las cañas enteras [20], son perfectas para generar elementos hiperbólicos [26], y cuentan con iguales propiedades mecánicas que la caña entera [20], pero si el elemento es demasiado largo y soporta una carga considerable puede sufrir un pandeo local [20] [26]. En Colombia se implementó viviendas unifamiliares saludables de bajo costo con cañas de bambú *Guadua Angustifolia Kunt*, fueron atractivas pero limitadas en espacio porque se usó como técnica muros portantes bahareques [21]. También en Tanzania se realizaron 4 prototipos de viviendas unifamiliares con cañas de bambú, priorizándose en el diseño la cultura del lugar, para de allí desprenderse lo estructural, la distribución, los procesos y materiales [11].

Para describir y entender la forma de la estructura y todas sus partes, la impresión en 3D es la mejor solución, ya que logra curvas complejas con alta precisión [27], los elementos se fabrican en menor tiempo y pueden hacerse modelos funcionales según el material de impresión [28]. Su limitante es el tamaño de la impresión requerida ya que hay que acomodarse a la capacidad máxima de la impresora y a las necesidades del trabajo a imprimir. En Arquitectura se aplica la impresión aditiva para la construcción de modelos y maquetas debido a su precisión y detalle [29]; estas maquetas pueden ser usadas como modelo conceptual, de trabajo y de marketing. La maqueta de trabajo se puede emplear en obra como proyecto terminado y puede estar integrado o aislado a su entorno de trabajo, empleándose para planificación y organización de la obra [30].

El estudio desarrollado se ubica en el Distrito de Puerto Bermúdez de la Amazonía Peruana, debido a la inexistencia de viviendas saludables, a su déficit habitacional del 57% y a su condición de pobreza [31]. En el presente trabajo se aborda el problema de la carencia de viviendas saludables rurales para pobladores en situación de pobreza de la región amazónica; desarrollándose el diseño de una vivienda rural unifamiliar de bambú empaquetado, que incluye: emplazamiento, elaboración de planos, elementos estructurales, proceso constructivo, evaluación de costo; la elaboración de una maqueta de la vivienda saludable; y el desarrollo de prototipos de uniones y conexiones estructurales impresos en 3D.

II. MATERIALES Y MÉTODO

A. *Materiales y/o equipos*

1) *Diseño*

La designación de la comunidad en estudio se hizo basado en imágenes satelitales de la zona y en [32]. En la elaboración de planos de Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Sanitarias y Eléctricas se empleó: 1 laptop marca ASUS con procesador

Intel Core i7 y memoria RAM de 8GB y el software AutoCAD 2019. En el diseño de los elementos estructurales se usó una laptop marca HP con procesador Intel Core i5 y memoria de 8GB de RAM, así como el software SAP2000 versión 2017. Para la descripción del proceso constructivo y evaluación del costo se utilizó una laptop marca ASUS con procesador Intel Core i7 y memoria de 8GB de RAM.

2) Maqueta

Se empleó como materiales: palitos cilíndricos de bambú de Ø 2mm y longitud 20cm, palos cilíndricos de bambú de Ø 3mm y longitud 25cm, 8 planchas de madera tornillo de 120x1.1x0.2cm, 2 tablas de MDF de 60x35x0.1 cm, filamento PLA colores verde oscuro, amarillo y blanco, silicona en líquido y en barra, cartulina color anaranjado tenue, hilo color negro, cinta tipo scotch, alambre de acero galvanizado Ø 0.5 mm, plantilla de corte, cuchilla, escalímetro, 2 hojas bond tamaño A2, transportador, agua caliente, clavos de 1 ½" y 1 plancha de MDF de 40x30x0.3cm.

La plancha de MDF se corta en forma de un círculo de radio 7.52m con un corte ortogonal al radio, el corte a una distancia de 3.05m del extremo del círculo. Para el diseño de los 2 anillos de la cubierta y de los elementos de cimentación, conexiones y uniones se utilizó una laptop de marca ASUS con procesador Intel Core i7 y memoria RAM 8G con software AutoCAD 3D. La impresión de los 2 anillos elípticos se hizo en 4 partes: 2 arcos de Ø 5.95mm y longitud de arco de 60cm para el anillo grande y 2 arcos de Ø 5.95mm con longitud de arco de 35cm para el anillo pequeño. Para los cimientos corridos de longitud 9.7x2x2cm; y las zapatas de 2x2x2cm con abertura interior de 11x8mm, se utilizó la impresora 3D marca XYZ modelo Da Vinci súper con área de impresión de 30x30x30cm.

3) Prototipos

Se utilizó una laptop de marca ASUS con procesador Intel Core i7 y memoria RAM 8G con software AutoCAD 3D. En la impresión de los prototipos de conexiones y uniones de 7cm de promedio para los ejes X, Y y Z se usó la impresora 3D marca Sindoh modelo 3DWOX 2X con área de impresión de 22.8x20x30cm.

B. Método

1) Diseño

1.1) Emplazamiento: Las Ref. [32, 33] nos dan las características socio económicas y geomorfológicas del distrito de Puerto Bermúdez, ubicado en una zona rural [34]; su población está en situación de pobreza y tiene 19698 habitantes [35], los cuales representan un 33.5% del total de pobladores rurales [36]; dedicándose a la ganadería, agricultura, y silvicultura, teniendo como ingresos la comercialización de ganado, madera y productos agrícolas [33]; y utilizan los ríos Pichis, Palcasú y Pachitea para el intercambio de productos de primera necesidad como: víveres, bebidas y vestimenta [34]. La zona está rodeada de abundantes árboles predominando la madera tornillo, el bambú con sus especies Guadua Angustifolia Kunth,

Dendrocalamus Asper y Bambusa [37], plantas nativas y arbustos [38]; cuenta con un clima cálido húmedo presentando valles, llanura fluvial y cadenas de montañas [34]; tiene viviendas con material predominante de madera, mayormente no cuentan con servicios higiénicos o eléctricos y se hallan separadas unas de otras aproximadamente 50m [33].

1.2) Elaboración planos

Arquitectura: Los planos A-01 y A-02 fueron elaborados definiendo primero el área total de la vivienda saludable según la forma, luego se hizo un boceto del diseño de planta y perfil para seguidamente dibujarlo a escala en AutoCAD 2D, posteriormente se realizó la distribución de ambientes basados en [31], [39] y un viaje realizado a la zona.

Estructuras: El plano E-01 se hizo según los planos A-01 y A-02, se utilizó bambú Guadua Angustifolia Kunth, y la técnica de bambú empaquetado, en el diseño se usaron [40, 41], [26], [20], [22], [42].

Instalaciones Sanitarias: El plano IS-01 se realizó con los planos A-01 y A-02, el diseño de las instalaciones interiores basados en [39], [43] y [19].

Instalaciones Eléctricas: El plano IE-01 se hizo en base los planos A-01 y A-02, el diseño de las instalaciones interiores según [39], [43] y [19].

1.3) Elementos estructurales: El metrado de cargas se hizo por elemento según [44], las fuerzas axiales, cortantes y momentos actuantes se calcularon con [45], y para la caracterización de elementos de bambú se utilizó [46,47].

1.4) Proceso Constructivo: Para el proceso constructivo se consideró la secuencia de ejecución de la vivienda, habiéndose utilizado las referencias [43], [19], [48], [49], [40], [41], [50], [26], [20], [50] y [51].

1.5) Evaluación del costo: Los datos del costo de la vivienda fueron tomados de [45].

2) Maqueta

Los elementos de la vivienda fueron identificados codificados de la siguiente manera:

Zapata (2 tipos): C1 (2 und), C2 (1 und)

Cimiento Corrido (1 tipo): CC1 (6 und)

Cañas de Soporte (1 tipo): CS (18 und)

Losa (1 tipo): LS (1 und)

Muro no estructural (1 tipo): MP (2 und)

Bambú empaquetado (4 tipos): BE1 (2 und), BE2 (4 und), BE3 (2 und), BE4 (1 und); con subdivisiones: BE“X”-1 para BE curvo y BE“X”-2 para BE levemente curvo o vertical.

Anillo Grande: AG (1 und)

Anillo Pequeño: AP (1 und)

Cañas a flexión activa (2 tipos): FA1 (2 und), FA2 (2 und)

Cubierta (1 tipo): CT (1 und)

Cobertura de Tejamanil (1 tipo) TM (120 und)

Los elementos C1, C2, CC1, AG y AP se hicieron con el software AutoCad 3D, luego almacenados en formato “.stl” para después imprimirlos durante 13 horas.

En paralelo se dibujó con el escalímetro la cimentación de la vivienda y su ubicación en planta en una hoja A2 a escala

1:25, este dibujo sirvió de molde para cortar los espacios de cimentación y determinar su ubicación en la cartulina de espuma negra; la cual se pegó a un tablero de MDF de 60x 35 y espesor 1cm, escogido para la base de la maqueta. Luego, en otra hoja A2 con escalímetro, escuadra y uno de los palitos de bambú sin cortar se dibujó la curvatura que tendrán los palitos de acuerdo al tipo de bambú empaquetado, los cuales se pegaron al otro tablero de MDF de 60x35 y espesor 1cm, para finalmente colocar clavos alrededor de las curvas dibujadas formando un molde.

Se prepararon 105 palitos de bambú de Ø 2mm, cortados con una cuchilla en longitudes entre 18cm y 12.5cm, se formaron grupos de 6 palitos y un grupo de 9, variando según las medidas del bambú empaquetado; luego fueron colocados en recipientes de agua caliente por 30 minutos para después colocarlos en el tablero de MDF con los clavos puestos. Se mantuvieron en estos moldes por 8 horas hasta que sequen y después se amarraron con hilo negro cada 1cm, comenzando a 5cm de la parte inferior; este proceso se repitió para los demás palitos rectos del bambú empaquetado.

Seguidamente se prepararon las cañas de flexión activa utilizando los palitos de bambú de Ø 3mm, cortándolos a sus medidas a escala 1:25; de igual manera se hizo con los tejamañiles cortando las planchas de madera tornillo de 120x 1.1 y espesor 0.2cm en rectángulos de 6x 1.1cm, de estos se elaboraron los suficientes para cubrir el área de 650 cm² que forma un cuadrante del anillo grande y fueron colocados en forma radial. Para preparar el muro no estructural se cortaron palitos de Ø 3mm y longitud 10 cm, los cuales se pegaron cada 2cm en tiras de cartulina de 15x10cm en sentido perpendicular al lado de 15cm, luego se cortaron las cañas de soporte utilizando 18 palitos de bambú de 2 cm de longitud y Ø 3mm.

Con todos los elementos listos procedemos a pegarlos con silicona o amarrarlos según se requiera, iniciamos el pegado de las zapatas y cimientos corridos al tablero de MDF, luego se pegan las cañas de bambú empaquetado a las cimentaciones, después hacemos lo mismo con los 2 palitos de 2cm y Ø 3mm en todos los cimientos corridos para a continuación colocar la plancha cortada de MDF de 3mm sobre las cañas de soporte. Seguidamente unimos con cinta scotch los elementos de bambú empaquetado con los anillos grande y pequeño, a continuación las cañas de flexión activa las amarramos sobre los anillos con hilo negro y cinta scotch; posteriormente colocamos la cubierta en los cuadrantes formados por los elementos de flexión activa para pegarlos con cinta scotch a los anillos grande y pequeño, y elementos de flexión activa; y finalmente pegamos el muro no estructural con cinta scotch al anillo grande y elementos de bambú empaquetado en el mismo cuadrante elegido al colocar la cubierta.

3) *Prototipos*

En la Tabla 1 se muestran las conexiones y uniones estructurales del bambú empaquetado identificadas en la vivienda saludable propuesta.

TABLA I
CONEXIONES Y UNIONES DE BAMBU EMPAQUETADO

Lista de Conexiones	
Código (elementos)	Detalle
CO4 (BE1-1, AP, FA1)	
CO5 (FA1, FA2, BE4)	
Lista de Uniones	
Código (Elementos)	Detalle
U1 (LS)	<p>El trozo de madera en sección transversal es de 10x5 cm, el largo va en toda la longitud de la Vigüeta asociada.</p> <p>Trozo de madera</p> <p>Estuilla de Bambú</p> <p>Soga natural</p> <p>Agujero en la corte de 2cm</p>
U3 (BE4)	<p>Bambú (BE)</p> <p>Soga natural</p> <p>Caña de 3" Ø, con un espesor de $\frac{1}{2}$"</p> <p>0.07</p> <p>0.0125</p> <p>0.22</p> <p>0.15</p> <p>0.30</p> <p>0.11</p> <p>0.22</p> <p>Se tendrán estos amarras a 0,50m y a 1,20m terminando la cementación</p> <p>0.22</p> <p>0.30</p>

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Diseño

1) Emplazamiento

En la Figura 1 se ve la zona rural en estudio que corresponde al distrito de Puerto Bermúdez, su población pertenece a diferentes comunidades nativas entre las cuales sobresalen los Yaneshas y Ashanincas [34], presenta bajos recursos económicos y se dedica a la agricultura y ganadería [34]; se concentra en actividades económicas primarias y terciarias [34] con un ingreso per cápita de \$1683 anuales (\$140.25 mensuales) [52], no cuenta con hospitales, existiendo un solo centro de salud [34]. Sus características ambientales son: clima tropical, lluvias recurrentes, rodeada de abundantes árboles ornamentales y frutales, vegetación tropical donde crece de forma natural las especies de *Dendrocalamus Asper*, *Bambusa* y *Guadua Angustifolia Kunth* [37].

Las comunidades nativas, se consideran rurales cuando están conformadas por centros poblados con menos de 2 mil habitantes y se caracterizan por tener viviendas dispersas [53]. Además, las diferencias demográficas y económicas dan una mayor probabilidad de ser pobres [54]. En [19] se considera que conocer dónde se construirá la vivienda es uno de los criterios más importantes para contar con una vivienda segura y confortable; la zona de estudio se escogió por su muy bajo

desarrollo social y económico [55]. El espacio es tan importante porque es el lugar donde se desarrolla nuestra vida en estrecha relación e influencia mutua con los otros elementos que lo conforman: agua, aire, plantas, animales, seres humanos e interrelaciones entre ellos [5].

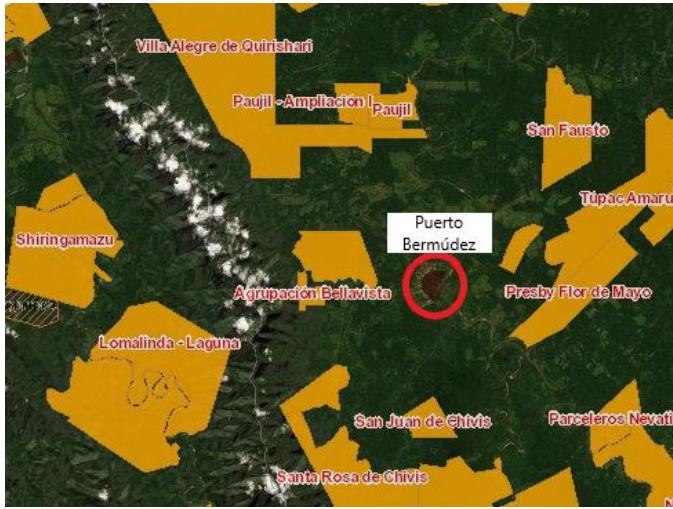


Fig. 1 Zonas rurales del distrito de Puerto Bermúdez.

B. Elaboración de planos

1) *Arquitectura:* En la Figura 2 se aprecia la planta de vivienda saludable unifamiliar, su forma es de un círculo de radio 7.52m con un corte ortogonal al radio, el corte a una distancia de 3.05m del extremo del círculo que responde a una forma orgánica buscando con ella armonizar el ambiente y la naturaleza del lugar con el usuario. Tiene un área total construida de 46.6m², distribuida en 3 ambientes: 1 sala de 17.5m², 2 dormitorios de 10.4 m² y de 8.1m², y 1 baño de 5.9m²; cuenta con un pasadizo y 1 puerta principal de 0.90m de ancho, 3 puertas interiores de 0.80m de ancho y 4 ventanas de 1x1.20x0.7m. El ingreso se realiza a través de la sala para luego ir por el pasadizo al dormitorio 1, dormitorio 2 o baño, con lo cual se busca dar una funcionalidad que responda a las necesidades individuales y de la familia.

El diseño realizado se ha basado en la filosofía de la arquitectura orgánica y el concepto de arquitectura vernacular. Con el primero se busca integrar la vivienda al entorno con la aplicación de formas y texturas características de la zona [51]; y el segundo, considera el uso de materiales locales y tecnologías tradicionales [56]. La distribución dentro de la vivienda saludable debe garantizar la intimidad, independencia y convivencia sana, sus espacios deben estar separados según las actividades que realizan cada uno de ellos [57]; sus áreas y dimensiones mínimas siguen las recomendaciones dadas en [39]; y la funcionalidad debe buscar satisfacer las necesidades objetivas como: sociales, culturales, biológicas y del lugar del individuo [58].

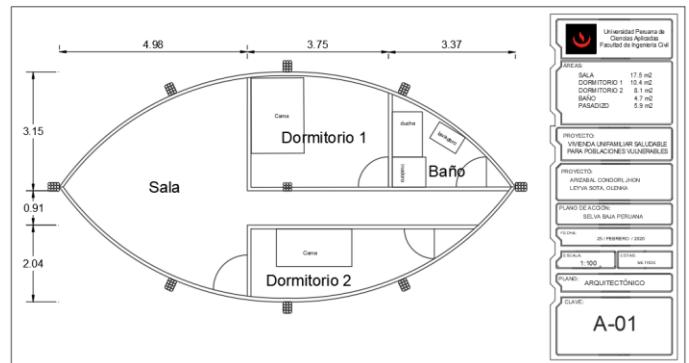


Fig. 2 Planta de la vivienda.

En la Figura 3 se muestra la elevación principal de la vivienda saludable, destacando la curvatura de la cubierta elaborada con cañas de bambú empaquetado en forma de Y recta, de altura entre 2.50-3.25 m que nace de la cimentación y en forma vertical de 3.25 m; éstas nacen en la cimentación y se unen en la parte superior a los 2 anillos de cañas de bambú y a las cañas curvas que completan la estructura.

El bambú empaquetado permite realizar curvaturas más pronunciadas sin descuidar sus requerimientos y de esta forma poder generar estructuras amplias y de forma orgánica para la zona de aplicación [20].

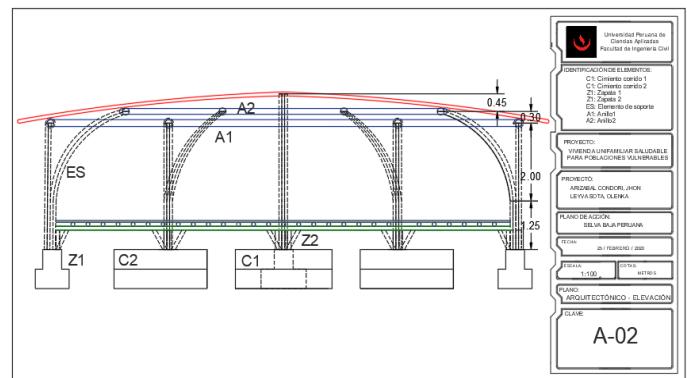


Fig. 3 Elevación principal de la vivienda.

2) *Estructuras:* En la Figura 4 se aprecia el plano de estructuras con el detalle del bambú empaquetado en forma de “Y”, sus conexiones y uniones con vistas en planta y lateral que se describen detalladamente en [45]; las cañas de bambú empaquetado poseen 12 cañas de bambú Guadua de Ø 7.5cm, se unen con amarres llamados “flute knots” [49] y se sub-dividen en dos grupos de 6 cañas cada uno. El grupo curvo de Ø 15cm se une al anillo superior formando un ángulo de 20° con respecto de la horizontal; y el grupo no curvo de Ø 15cm se une al anillo inferior de forma perpendicular; completándose la cubierta con 2 cañas a flexión activa de Ø 10cm que fijan y soportan los esfuerzos a tensión de la cubierta de tejamanil. Las cañas de bambú empaquetado se conectan a las zapatas y cimientos corridos mediante una barra de acero de $\frac{3}{4}$ " que se coloca a 20 cm dentro de la caña y otros 20 cm dentro de la

cimentación, hacia el lado de la caña se inyecta mortero 1:4 hasta los 20 cm, esto para todas las cañas con esta conexión. La losa tiene 8 cañas de Ø 10cm, de las cuales 4 de ellas funcionan con flexión activa y sobre estas están espaciadas cada 40cm cañas de Ø 10cm, que funcionan como viguetas; todo el sistema de la losa se une mediante amarres indicados en [59].

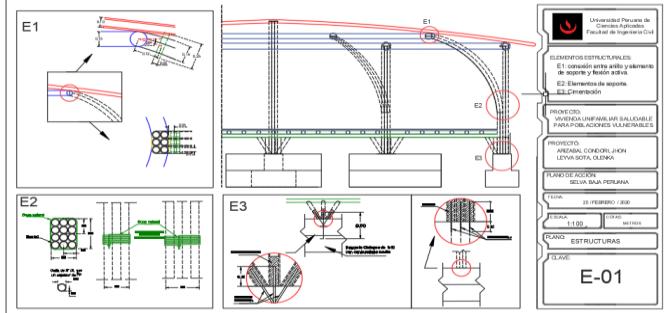


Fig. 4 Plano de estructuras.

La conexión del bambú empaquetado con el anillo debe orientarse de manera que los pasadores se sujeten en forma paralela al eje de las cañas y asegurarse con amarres adicionales [49]. Las uniones con soga natural proporcionan una unión con características de apoyo simple, y presentan mejores propiedades físicas y mecánicas que las uniones con pernos solamente [59]; este material es el que existe en la zona siendo accesible y económico. Las uniones con pasadores de bambú deben limitarse a un uso estructural moderado, sin embargo, se pueden utilizar en cualquier elemento estructural bajo especificaciones técnicas [48].

3) *Instalaciones Sanitarias*: En la fig. 5 se ve el plano de instalaciones sanitarias con las redes de distribución de agua y desagüe. El agua ingresa de la red pública por un medidor que se conecta a una tubería enterrada de Ø $\frac{3}{4}$ " de PVC, hasta la tubería empotrada de Ø $\frac{1}{2}$ " de PVC a la salida del inodoro, lavatorio y ducha la que irá por el muro de quincha. La red de desagüe tiene una tubería de Ø 2" de PVC para el lavatorio y la ducha, y una tubería de Ø 4" de PVC para el inodoro; estas tuberías se conectan a una tubería de Ø 4" de PVC, la que conduce a una caja de registro de 10"x24"x24".

Toda casa-habitación estará dotada de por lo menos un servicio sanitario que contará cuando menos con un inodoro, un lavatorio y una ducha [39]. Las instalaciones sanitarias no deben estar empotradas dentro de los elementos estructurales del bambú [19]. Las tuberías enterradas deberán colocarse en zanjas de dimensiones tales que permitan su protección y fácil instalación [43]. Las instalaciones sanitarias deben preverse desde el inicio de la construcción [43]. Antes de proceder con el vaciado de la losa, se debe apisonar el piso y colocar la tubería de instalación sanitaria [19].

4) *Instalaciones Eléctricas*: En la Figura 6 se muestra el plano de instalaciones eléctricas con los circuitos de alumbrado y tomacorrientes. El medidor, tablero de distribución, puntos de luz, interruptores y tomacorrientes se encuentran ubicados con respecto al nivel de piso terminado (NPT) a las distancias

de 1.00, 1.80, 2.40, 1.40 y 0.40m respectivamente. La tubería de Ø $\frac{3}{4}$ " de PVC va enterrada sobre el falso piso y para su ubicación a la altura de los NPT indicados se colocará empotrado en el muro de quincha de espesor de 10cm.

Las instalaciones eléctricas deben preverse desde el inicio de la construcción [43]. Antes de proceder con el vaciado de la losa se debe apisonar el piso y colocar la tubería de instalación eléctrica [19]. La distribución de red de conducción al medidor, tablero de distribución, puntos de luz, interruptores van empotradas [60].

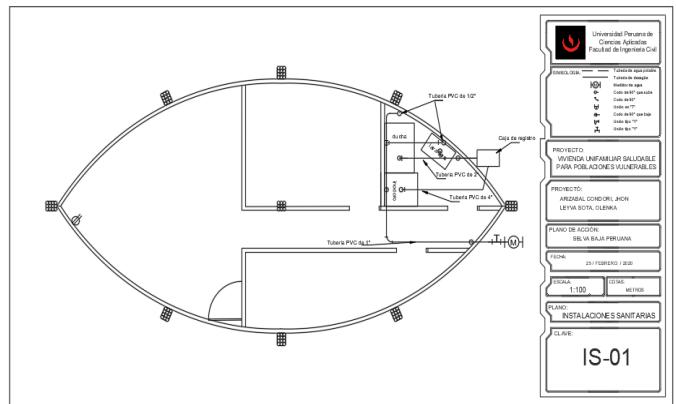


Fig. 5 Plano de instalaciones sanitarias.

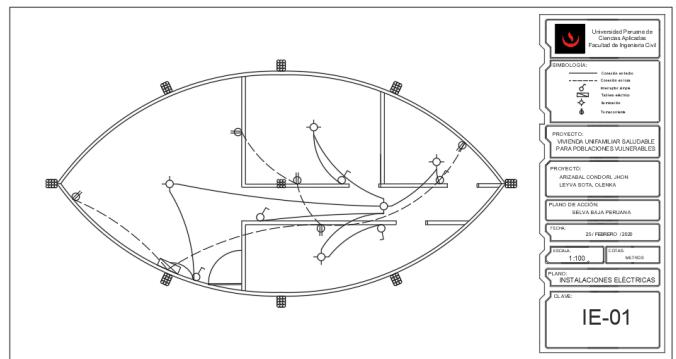


Fig. 6 Plano de instalaciones eléctricas.

C. Elementos Estructurales

En la tabla II se muestra el análisis del elemento estructural más crítico del bambú empaquetado que soporta al anillo superior, donde se concentran los mayores esfuerzos a compresión y momentos actuantes debido a la combinación de efectos de flexión activa y P-delta. Los cálculos indican que el esfuerzo a la compresión es de 2114.3 kgf siendo menor que el máximo resistente, y los momentos de 15199642 y 4084.49 kgf respectivamente; los otros elementos cumplen con los requerimientos, garantizando el correcto funcionamiento de la vivienda, el análisis de los demás elementos en detalle se encuentra en [45].

TABLA II
ANÁLISIS DE ELEMENTO ESTRUCTURAL

Requerimientos del elemento BE1-1	Requerimiento de esfuerzo sometido	Resistencia última del elemento	Cumple
Compresión (kgf)	2114.3	15199642	Sí
Momento flector (kgf-m)	1521.82	4084.49	Sí

Para los elementos estructurales de la vivienda se utilizaron los esfuerzos admisibles de la caña de bambú [46], los cuales varían según las reglamentaciones de cada país [60], [41]. Para los elementos de bambú empaquetado se usaron valores de [26], [20] que permitieron crear las formas según los diámetros de las cañas o latillas de bambú. Para la técnica de flexión activa, se analizó la presencia de momentos a lo largo de los elementos de tal forma que en ciertos tramos funcionen a compresión [20]; las técnicas utilizadas tienen una función mecánica que induce a la eficiencia del bambú [20].

D. Proceso constructivo

1) *Cimiento y sobre cimiento:* El Cimiento se inicia trazando las 3 zapatas y los 6 cimientos corridos con ayuda de un cordel y tiza, luego se excava y coloca la parrilla conformada por 13 varillas de $\varnothing 3/8"$ con una longitud de 1.625m, que incluye una doblez de 12.5cm más; seguidamente se vacea concreto ciclópeo de 1:10 con piedra grande $\varnothing 1"$ para la cimentación corrida y concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para las zapatas; posteriormente se encofra el sobrecimiento de altura 0.30m con madera tornillo y se realiza su vaceado, donde previamente se han incluido mechas de acero que sobresalen 0.50m con el fin de unir al bambú empaquetado.

2) *Losa:* Previo a la colocación de las cañas sobre el perímetro de la losa, se les aplica Borax; luego se agrupan 4 cañas de $\varnothing 4"$ y 8m de longitud y se les aplica la técnica en caliente para darles la curvatura, ésta se realiza introduciendo las cañas en un pozo con agua caliente durante 24 horas; en otra área se colocan estacas haciendo un molde con la forma que se desea obtener de la caña, seguidamente se colocan las cañas calientes entre estacas por 3 días para que sequen y finalmente estas cañas se unen con un corte boca de pez y se colocan sobre las cañas de $\varnothing 4"$ que vienen de la cimentación. Definido el perímetro, se colocan cañas de bambú de forma transversal cada 40 cm del eje central de caña a caña y sobre ellas se colocan soleras de madera de 7x10cm con un corte en semi-círculo de radio 7cm en el extremo inferior, para luego cubrir toda el área de la losa de 52.33m² con esterillas de bambú de espesor 2.5-3.5cm haciendo la función de encofrado permanente; posteriormente se vacea mortero 1:4 de espesor 5 cm y se coloca una malla gallinero de acero galvanizado de $\varnothing 3/8"$, para finalmente colocar una capa más de mortero.

3) *Bambú empaquetado de soporte:* Las cañas enteras de bambú empaquetado están tratadas con Borax, y tienen un $\varnothing 3"$, estas se amarran con soga natural de $3/4"$ de \varnothing cada 25 cm hasta antes de llegar a la curvatura, luego se amarran cada 50cm de longitud. Los elementos de soporte se conectan a la cimentación con codificación CO1, mediante las mechas de

varillas de acero de $3/4"$ \varnothing que sobre salen del sobre cimiento a una altura de 20cm; se colocan las cañas de bambú empaquetado con una perforación de 5 cm del segundo nudo de cada caña de bambú agrupado. Finalmente, con un embudo se vacea mortero 1:4 completando la conectividad.

4) *Cubierta:* Para construir los anillos con la técnica de bambú empaquetado en latillas, se preparan cañas de $\varnothing 3"$ y se cortan con un cortador radial de 8 divisiones, y así cortar las cañas de bambú dejando las latillas; éstas se colocan en moldes elípticos que simulan los anillos de cubierta hechos con estacas de 2.5x3x20cm para darle forma, luego se agrupan con soga natural de $\varnothing 3/4"$ cada 50cm dándole la forma adecuada a los anillos grande y pequeño de $\varnothing 15\text{cm}$. Los anillos son conectados a las cañas de bambú de soporte mediante pasadores de 5x4x25cm de madera y soga natural de $\varnothing 3/4"$, para ello se realiza una perforación a los 12cm del extremo superior de las cañas de bambú empaquetado de soporte, se incrusta un pasador de madera que permite amarrar el anillo con el bambú empaquetado de soporte, para así obtener conexión CO5.

Las 4 cañas de flexión activa de $\varnothing 4"$ de la parte superior de la cubierta, previamente pasarán por la técnica en caliente, para luego ser colocadas en el nivel superior las 2 más largas de 7.15m unidas entre sí y las otras 2 de longitud más corta de 4 m en el nivel inferior, las que se unen en la parte central a un trozo de madera cilíndrico de $\varnothing 7\text{cm}$ y 0.4m de longitud que se encaja dentro de las cañas, para luego fijarlos con pasadores de madera de 5x5x10cm y finalmente encajarlas en el bambú empaquetado de soporte central, la primera de longitud más corta y luego la otra de longitud más larga.

5) *Cobertura:* Se colocan latillas sobre la cubierta espaciadas cada 50cm, de largo requerido por la forma y espesor 2.5-3.5cm y se distribuyen en forma horizontal y vertical, sobre las latillas horizontales se coloca tejamanil de 60cm de longitud sin entrenudos; este tejamanil es preparado con cañas de $\varnothing 3-4"$ que se cortan a la mitad, dejando 5cm a un extremo para luego cortar una lengüeta de 12cm de largo en la parte expuesta de la caña cortada.

6) *Muros no estructurales:* Fijamos la caña del bambú empaquetado de espesor 2.5cm en promedio con clavos de $1\frac{1}{2}"$; luego se corta el excedente de caña en sus extremos; seguidamente se aplica una capa de mortero de 2cm de espesor con 1 unidad estiércol, 2 unidades de arena (70%) + arcilla (30%), y paja de longitud no mayor de 10cm; para finalmente aplicar un recubrimiento de 2cm sin paja.

Los procesos constructivos descritos están alineados con las recomendaciones y especificaciones técnicas sobre bambú dadas en [43], [40] y [41], adicionalmente se utilizaron para casos puntuales de las diferentes etapas de la construcción otras referencias importantes; como es el caso del anclaje interno usado en la cimentación, tomado de [40]; el mortero reforzado con malla tipo gallinero aplicado en la losa, descrito en [49]; los postes anclados a los cimientos aislados para el bambú empaquetado de soporte, referenciados en [49], y la técnica en caliente para el bambú empaquetado, indicada en

[50]; el sistema de latillas para la cubierta, tomado de [51], [61] y la flexión activa considerada en la investigación, referenciada en [20] y [62]; el tejamanil considerado como cobertura, recomendado en [49], [63]; y la quincha para los muros no estructurales, descritos en [49], [19].

E. Evaluación del costo

En la tabla II se muestra el costo total de la vivienda saludable, cuyos precios unitarios han sido tomados de [45]. El costo total incluye un Fixed Cost (aplicado a viviendas no construidas) del 20% del costo total por ser una estructura con materiales similares a la madera; el costo total de S/. 19,005.06 al dividirlo entre el área de la vivienda de 53.33 m² tenemos el costo por m² construido de S/.356.37 (\$107.02).

La población vulnerable socioeconómicamente al carecer del cumplimiento de condiciones mínimas de habitabilidad representa un riesgo para su salud física y mental [26]; además [61] indica que no solo se debe construir con un material de construcción más saludable para el medio ambiente, sino que también sea económicamente justificable; por otro lado [14] reconoce que las prácticas sostenibles fortalecen una tecnología de construcción duradera, eficiente y económica en las zonas rurales. Al respecto, podemos indicar que el costo por m² construido obtenido es muy bajo y consideramos que favorece a los pobladores de la zona rural en estudio para acceder a la construcción de una vivienda saludable, dadas sus precarias características económicas y de vivienda que poseen.

F. Maqueta

En la Figura 7 se muestra la maqueta de la vivienda saludable a escala 1/25, identificándose sus diferentes componentes: cimientos corridos y zapatas (impresos en 3D); cañas de bambú empaquetado que soportan un anillo grande y uno pequeño (impresos en 3D); cañas a flexión activa y cubierta de tejamanil y muro de quincha.

En la Fig. 8 se observa la codificación de cada uno de los elementos componentes de la vivienda saludable identificados con sus códigos respectivos. El CC1 de color marrón claro y C1 de color verde, pertenecen al cimiento corrido y zapata. El BE1, BE2, BE3 y BE4 de color crema que corresponden a las cañas de bambú empaquetado; se subdividen en BE1-1, BE2-1 y BE3-1 que soportan el AP de color blanco, y BE1-2 BE2-2 y BE3-2 que soportan el AG de color amarillo. Finalmente, el BE4 ubicado en la parte central que completa la estructura con el soporte de las cañas de la cubierta FA1 y FA2; en donde FA1 está en la longitud más corta de los extremos de la vivienda y FA2 que pasa por los extremos más largos para apoyarse en los anillos AG y AP.

En la Figura 9 se visualiza en la parte inferior derecha un tramo del muro no estructural que representa a cañas de bambú y quincha, el cual está representado por color ocre y se coloca verticalmente desde la losa hasta el AG.

En la Figura 10 se aprecia en la parte superior al lado izquierdo, una parte de elementos presentes en la cobertura: los

anillos impresos en 3D de color amarillo y blanco; las cañas a flexión activa de color piel; y la madera tornillo que forma la cobertura de tejamanil de color piel.

TABLA II
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA VIVIENDA SALUDABLE

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	Subtotal
Materiales					S./11,971.87
Elementos metálicos	Varias	-	-	595.25	
Otros	Varios	-	-	290.55	
Bambú Guadúa	Ml	154.20	13.28	2047.84	
Soga de fibra natural	Ml	712.99	5.33	3169.25	
Pieza de madera	Pza	247.20	3.84	949.25	
Tiras de caña	Ml	476.37	3.16	1505.33	
Elementos Cementantes	Varios	-	-	3414.40	
Mano de obra					S/3446.07
Capataz	Hh	23.26	17.04	396.29	
Operario	Hh	60.53	14.37	869.81	
Oficial	Hh	42.28	12.91	545.89	
Peon	Hh	143.34	11.40	1634.07	
Maq y herramientas					S/419.61
Wincha	Und	3	20.00	60.00	
Cizallas de 30"	Und	3	5.00	15.00	
Herramientas	% m.o.	0.10	3446.07	344.61	
				Parcial (S./)	S/15,837.55
				Fixed Cost	S/3,167.51
				Total (S./)	S/19,005.06

G. Prototipos

En la figura 11 se aprecian las piezas codificadas de la conexión más crítica de la estructura de la vivienda, ubicada en la zona central superior de la cubierta. Esta conexión está entre los elementos FA1, FA2 y BE4 (impresas en 3D) y requiere de piezas internas que aseguren su conectividad, como: U1 y U2 (impresas en 3D) y P1,P2,P3, P4.

En la figura 12 se muestra el ensamblaje de FA1 que representa 2 cañas en flexión activa unidas en su interior con U1 de madera, tanto FA1 y U1 presentan cortes rectangulares en sus extremos para colocar los pasadores P1 y P2 y así completar la unión.

En la figura 13 se ven las piezas ensambladas FA1 y FA2 colocadas en la pieza BE4, que se completó: formando el grupo FA1 + U1 + P1 + P2 y sobre ellos el grupo FA2 + U2 + P3 + P4. Usando un modelo a escala se obtiene un resultado muy similar al real por lo que se pueden tomar decisiones a partir de la experimentación en prueba y error a escala con el diseño [50]. Se requiere realizar un prototipo para reconocer procesos constructivos que requerirá el diseño [11]. La maqueta de obra terminada se usa en planificación, organización y trabajo [62].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).



Fig. 7 Maqueta vivienda saludable.

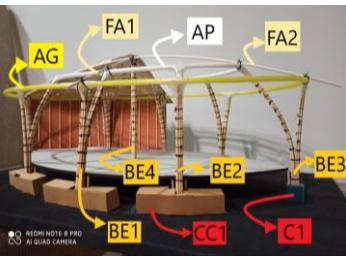


Fig. 8 Maqueta con elementos codificados.

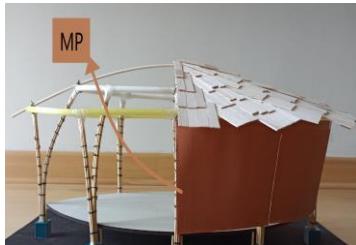


Fig. 9 Muro no estructural.

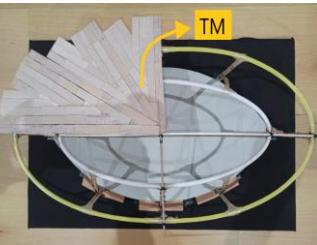


Fig. 10 Cobertura de tejamanil.

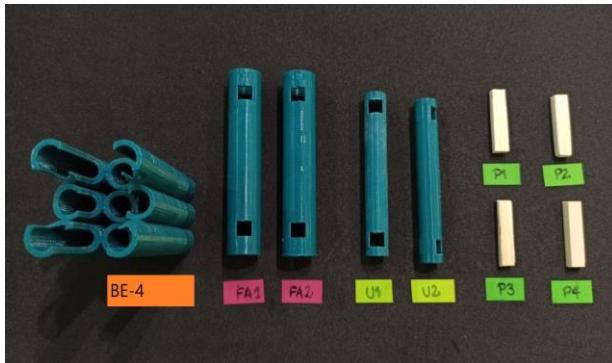


Fig. 11 Piezas de conexión crítica de cubierta.

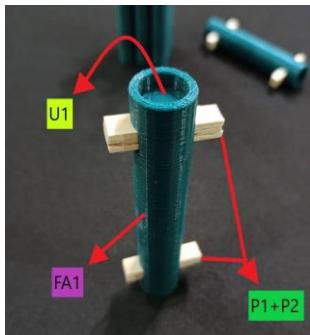


Fig. 12 Pieza FA1.

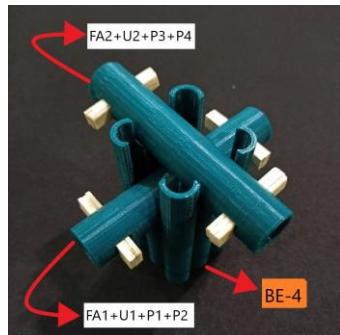


Fig. 13 Conexión FA1, FA2, BE4.

IV. CONCLUSIONES

La vivienda saludable propuesta para las zonas rurales será un elemento motor impulsor de la igualdad, erradicación de la pobreza y del desarrollo íntegro reduciendo los riesgos que generan los problemas de salud físicos y mentales.

La utilización de la forma orgánica, los materiales y las técnicas constructivas de la zona en el diseño de la vivienda, hace que éste se integre y armonice con el entorno, favoreciendo a la utilización de recursos sostenibles y económicos de la zona.

La maqueta elaborada de la vivienda saludable nos facilita la comprensión y entendimiento vivencial del funcionamiento de sus componentes para que su construcción sea realizada con la mayor claridad posible durante del proceso constructivo.

Los prototipos elaborados con impresión 3D representan de forma exacta la forma de las uniones y conexiones, permitiendo analizar cortes, ángulos de inclinación y técnicas empleadas para posibles ajustes y modificaciones.

REFERENCIAS

- [1] S. Yuca, “Gestión integral y adaptiva de recursos ambientales para minimizar vulnerabilidades al cambio climático en microcuencas andinas”, Soluciones Prácticas (ITDG), Lima, 2010
- [2] K. Barker, “Review of Housing Supply”, Stationery Office, London, 2004.
- [3] S. Cohen, “Habitacão Sadudavel como Caminho para la Promocao da Saude”, tesis doctoral, Ciencias de la salud, ENSP, Rio de Janeiro, 2004.
- [4] R. Santa María, “Iniciativa de vivienda saludable en el Perú,” Rev Peru Med Exp Salud Pública, vol. 4, no. 25, pp. 419-430, Noviembre 2008.
- [5] Organización Panamericana de la Salud - Gobierno de Colombia, “Hacia una vivienda saludable”, OPS, Bogotá, 2011.
- [6] Organización Panamericana de la salud, “Hacia una vivienda saludable-Guía para el facilitador”, OPS, Lima, 2009.
- [7] Banco Mundial. Latinoamérica: dos de cada tres familias necesitan una mejor vivienda, no una nueva [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/03/27/latinoamerica-dos-de-cada-tres-familias-necesitan-mejor-vivienda> [Último acceso: 7 Marzo 2020].
- [8] A. Izquierdo, C. Pessino y G. Vuletin, “Mejor gasto, para mejores vidas”, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington: BID, 2018.
- [9] Banco Mundial, Población rural-Latino América y Caribe, 2018. [En línea]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL?locations=ZJ> [Último acceso: 29 Feb. 2020].
- [10] EcoHabitar. La guadua: una maravilla natural de grandes bondades [En línea]. Available: <https://ecohabitar.org/la-guadua-una-maravilla-natural-de-grandes-bondades/> [Último acceso: 29 Abril 2020].
- [11] L. Von Seidlein, et al, “Affordable house designs to improve health in rural Africa: a field study from northeastern Tanzania,” The Lancet Planetary Health, vol.1, n°5, pp. e188-e199, Agosto 2017.
- [12] S. Xie, “Quality matters: housing and the mental health of rural immigrants in urban China,” Journal Housing Studies, vol. 34, n° 9 pp. 1-23, Marzo 2019.
- [13] M. Rossel. Nueve de cada 10 viviendas de América Latina y el caribe son de baja calidad, El País [En línea]. Available: https://elpais.com/elpais/2018/10/27/planeta_futuro/1540600189_307714.html [Último acceso: 28 Oct 2019].
- [14] N. Monzur, “Re-thinking Mud House: Countering the gradual shift in traditional vernacular architectural practice in Northern Bangladesh,” International Journal of Architectural Research, vol. 12, n°2, pp. 319-333, Agosto 2018.
- [15] C. Torres, M. Gomez y N. García, “Una propuesta de constructivista para promover el desarrollo de viviendas saludables en la comunidad del Barrio Machuelo Bajo en Colombia,” Revista educación y desarrollo social, vol. 8, n° 2, pp. 82-95, Setiembre 2014.
- [16] I. Cala, El secreto del Bambú, Ed. Gld, HarperCollins , pp. 1-224, 2015.

- [17] B. Acosta. Tipos de Bambú, Ecología verde. [En línea]. Available: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-bambu-2152.html> [Último acceso: 03 Marzo 2020].
- [18] O. Hidalgo, Bamboo: The gift of the goods, 1ra Ed., Minnesota: University of Minnesota, pp 1-553, 2003.
- [19] Y. Barnet, F. Jabrane y L. Nolte, "Estudio de vulnerabilidad de las viviendas de Bambú al cambio climático en el norte del Perú: Optimización de las viviendas del Norte del Perú con el uso del bambú", INBAR-Unión Europea, Lima, 2014.
- [20] A. Maurina y B. Prastyatama, Bamboo "Arqchitectonic: Experimental Studies using Bundled-Bamboo-Split (BBS)," International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, vol. 7, nº3, pp. 850-857, Junio 2017.
- [21] H. Echezuria, "El bambú como recurso sustentable para construcción de viviendas de bajo costo," Revista Tekhné, vol. 21, nº2, p.21, Mayo 2018.
- [22] S. Adrienssens, et al, Shell Structures for Architecture: Form, Finding and Optimization, 1ra ed, Routledge, London, pp. 1-340, 2014.
- [23] C. Harris, Dictionary of Architecture and Construction, 4ta ed, New York, McGraw-Hill Companies, pp 1089, 2006.
- [24] J. Morán, "Construir con Bambú", Red Internacional del Bambú y Ratán, Lima, 2015.
- [25] V. Ordoñez, et al, "Manual para la construcción sustentable con Bambú", Comisión Nacional Forestal, Jalisco, 2013.
- [26] M. Septiana, A. Maurina y K. Arif, "Application of Bundled Bamboo Split as structural elements in Pearl beach lounge, Gili Trawagan" Int Conf on Parahyangan Bamboo Nation 2, pp. 116 - 130, 2015.
- [27] M. Rajshree, "3D printing in Architecture," International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, vol. 3, nº 7, pp 583-591, 2016.
- [28] P. Thabiso, M. Cephas y M. McDonald, "The impact and application of 3D printing technology", International Journal of Science and Research, vol. 3, nº 6, pp. 2148-2152, 2014.
- [29] A. Cortés, "Estudio de la viabilidad de la tecnología de impresión 3D aplicada al sector de la construcción naval", Trabajo Final de Grado, UPC, Barcelona, 2019.
- [30] O. Herrera, "Impresión 3D de proyectos de Ingeniería y Construcción", Memoria Título de Ingeniero Constructor, UAB, Santiago de Chile, 2017.
- [31] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2018", INEI, Lima, 2019.
- [32] IBC, Mapa de comunidades nativas, reservas indígenas y comunidades campesinas, IBC [En línea]. Available: <http://191.98.188.187/ibcmap> [Último acceso: 13 Marzo 2020].
- [33] INEL, Pasco: Compendio estadístico 2010, INEL, Cerro de Pasco, 2010.
- [34] Presidencia del Concejo de Ministros, "Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia de Oxapampa", Go. Regional Pasco, Cerro de Pasco, 2004.
- [35] INEI, "Perú: Crecimiento y distribución de la población total 2017, Censos Nacionales 2017", INEI, 2018.
- [36] INEI, "Perú: Principales indicadores departamentales Censos Nacionales 2009-2015", INEI, 2015.
- [37] H. Gonzales, "Elaboración de una propuesta para el aprovechamiento y transformación de bambú en el ámbito de PRODAPP (Puerto Inca - Oxapampa)", UNALM, 2005.
- [38] J. Palomino y M. Barra, "Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad", Programa Selva Central Oxapampa, 2003.
- [39] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2016.
- [40] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, E. 100 Bambú, Lima, 2011.
- [41] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC5525, Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth, Bogotá, 2007.
- [42] N. Maurina y B. Prastyatama, "Eksplorasi struktur bambu melalui integrasi pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat" Seminar Nasional Menuju Konstruksi Bambu Modern Masa Depan, Bandung, pp. 1-8, Diciembre 2016.
- [43] T. Cerrón, "Manual de construcción de estructuras con Bambú", SENCICO, Lima, 2014.
- [44] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones, E. 020 Cargas, Lima, 2006.
- [45] J. Arizabal y O. Leyva, "Propuesta de vivienda económica utilizando bambú empaquetado y flexión activa para pobladores rurales de extrema pobreza en la provincia de Oxapampa", Tesis de Ingeniería Civil (a sustentar), Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2020.
- [46] P. Carpio y J. Vasquez, "Características Físicas y mecánicas del Bambú para fines Estructurales", Tesis de Ingeniero Civil, UPAO, Trujillo, 2016.
- [47] Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, NTE 060 Concreto Armado, Lima, 2019.
- [48] Lucia Aguilar Arquitectos, "Manual para la construcción con bambú".
- [49] Comisión Nacional Forestal, "Manual para la construcción sustentable con ocochal-arcella", Comisión Nacional Forestal, Jalisco, 2013.
- [50] A. Maurina, Curved Bamboo Structural Element, Universidad Católica Parahyangan, 2015.
- [51] A. Maurina, "Penggunaan bambu pada struktur rangka dan struktur permukaan aktif pada bangunan organik dengan bentuk atap bergelombang" Reinkarnasi Bambu dalam Kekinian, Surakarta, pp. 21-31, 2014.
- [52] INEL. Condiciones de política Económica para el crecimiento de los Niveles de Vida. [En línea]. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0382/cap-05.htm [Último acceso: 15 Enero 2020]
- [53] Banco Mundial, ¿Por qué la población indígena tiene mayor probabilidad de ser pobre?. [En línea]. Available: <https://blogs.worldbank.org/es/opendata/por-qu-la-poblaci-n-indigena-tiene-mayor-probabilidad-de-ser-pobre> [Último acceso: 7 Marzo 2020].
- [54] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Perú: Perfil Sociodemográfico", Informe Nacional, INEI, Lima, 2018.
- [55] Municipalidad provincial de Oxapampa, "Plan de desarrollo concertado (2009-2020)", Municipalidad de Oxapampa, Oxapampa, 2010.
- [56] J. Gomez, "Vivienda efímera Urbana: ¿Arquitectura Vernácula?", Revista de Arquitectura, nº7, pp 136-143, 2010.
- [57] DIACONIA, "Manual de componentes para una vivienda saludable", DIACONIA, Lima, 2015.
- [58] L. Lizondo, La función en la arquitectura, General de Ediciones de Arquitectura, Valencia España, 2012.
- [59] T. Nagai y H. Toki, "Evaluation of design strength of bamboo and development of joint making method with manual work," AJJ Journal of Technology and Design, vol. 22, nº 52, pp. 925-928, Setiembre 2016.
- [60] International Organization of Standards, ISO 22156, Bamboo-structural design, Switzerland, 2004.
- [61] E. Krasny, S. Klarić y A. Korjenic, "Analysis and comparison of environmental impacts and cost of biobased house versus concrete house," Journal of Cleaner Production, vol 161, pp. 968-976, Setiembre 2017.
- [62] A. Maurina, et al, komparasi penggunaan material bambu dalam struktur 'form-active' dan 'semi-form-active' pada bangunan lengkung bentang lebar, Research report-engineering science, vol 1, pp. 1-84, 2014.
- [63] A. Maurina, "pemanfaatan bambu sebagai material penutup atap pada arsitektur tradisional dan kontemporer di Indonesia" Seminar Nasional Jelajah Arsitektur Tradisional, pp.320-331, 2015.