



DISEÑO Y VALIDACIÓN PRELIMINAR DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA VIVIENDAS BASADO EN PANELES DE MADERA TENSADA XILO-TENS

DESIGN AND PRELIMINARY VALIDATION OF STRUCTURAL SYSTEM FOR HOUSING BASED ON TENS WOOD PANELS: XILO-TENS

Mauricio Vargas Mosqueda^{(1)*}; Ricardo Picón⁽²⁾

^{(1)*}Arquitecto. Magister. Academico Departamento de Ciencias de la Construcción. Facultad de Arquitectura Construcción y Diseño. Universidad del Bio Bio, Chile.

⁽²⁾Dr. Ing. Civil. Ricardo Picón. Profesor Facultad de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad Católica de Temuco.

*Contacto: Mauricio Vargas Moqueda- email: mvargas@ubiobio.cl

CÓDIGO: 4603321

Resumen

Ante el gran déficit habitacional hoy en día existente en Latinoamérica urge plantear soluciones sustentables. Es por ello que la presente investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema constructivo estructural para la construcción sustentable de viviendas en madera denominado XILO-TENS. Este se concibe como un sistema de prefabricación liviana que permite la construcción de viviendas de hasta dos pisos de altura, mediante un montaje fácil y rápido. Su concepto permite el diseño de múltiples configuraciones espaciales a partir de una tipología mixta de muros portantes y vigas fabricados con madera sólida tensada, utilizando procesos de baja tecnología que permiten un fácil uso y apropiación por parte de la población en general. La propuesta en sí se enfoca, tanto el diseño del sistema estructural, como en la validación preliminar en cuanto a resistencia mecánica, de sus principales componentes constructivos. La investigación concluyó que el sistema se perfila como una alternativa factible a ser implementada.

Palabras-Clave: Vivienda, madera, sostenibilidad, sistemas constructivos, madera tensada

Abstract

In view of the great housing deficit that exists today in Latin America, it is urgent to propose sustainable solutions. That is why this research focuses on the development of a structural construction system for the sustainable construction of wood houses called XILO-TENS. This is conceived as a lightweight prefabrication system that allows the construction of houses up to two stories high, through easy and fast assembly. Its concept allows the design of multiple spatial configurations from a mixed typology of load bearing walls and beams made of tensioned solid wood, using low-tech processes that allow easy and appropriate use by the general peaple. The proposal itself focuses, both on the design of the structural system, and on the preliminary validation in terms of mechanical resistance of its main construction components. The investigation concluded that the system is emerging as a feasible alternative to be implemented.

KEY WORDS: Housing, wood, sustainability, construction systems, wood tesn.



1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la construcción con madera ha alcanzado un importante desarrollo tecnológico en los países industrializados con alta tradición en el uso de este material. Sin embargo, pensar en su implementación en Latinoamérica implica superar barreras culturales, sociales, políticas y tecnológicas que limitan su uso y aceptación general. Aun así, en la actualidad resulta importante asumir este reto en función de alcanzar un desarrollo realmente sustentable. En este sentido se plantea como proyecto, el desarrollo de un sistema constructivo estructural para la construcción sustentable de viviendas denominado XILO-TENS, el cual se concibe como un sistema mixto constituido por muros portantes y vigas que permiten la configuración de vanos de hasta 2.40 m. Estos elementos son construidos a partir de elementos de madera sólida tensada fabricados mediante procesos de baja tecnología con la finalidad de facilitar su producción. Su concepto permite el diseño y construcción de una variedad de configuraciones para viviendas de hasta dos pisos de altura a partir de pocos elementos estandarizados que se adaptan y fijan mediante sencillos procesos manuales realizados en sitio y responden a un montaje fácil y rápido. Su producción se plantea en forma prefabricada con materiales de fácil adquisición y mediante procesos de poca complejidad que no requieren el uso de adhesivo. Aun cuando los resultados fueron altamente satisfactorios es importante destacar que el presente trabajo muestra lo relativo a la fase de diseño y validación preliminar del sistema, quedando aun por desarrollar protocolos de validación definitiva para su puesta a punto final.

2. METODOLOGÍA.

El problema de investigación se define a partir de la pregunta: ¿Es posible implementar elementos de madera tensada como componentes estructurales para la construcción de viviendas en forma masiva y sostenible? En este sentido se establece como objetivo de investigación el diseño y validación preliminar de un sistema constructivo estructural a partir de elementos de madera tensada. Así, desarrollo del concepto se inició con un proceso intuitivo o “diseño original a priori” (Riba 2002), sustentado en el planteamiento de una necesidad inicial y en el bagaje experiencial del autor. De esta manera, como objetivos específicos se plantean: 1) Aportar una solución eficaz, eficiente y de calidad para la construcción masiva de viviendas; 2) Desarrollar un diseño bajo criterios de sustentabilidad, adaptado a recursos tecnológicos y materiales asequibles; 3) Flexibilizar la configuración y diseño de espacios arquitectónicos; 4) Desarrollar sistemas y elementos constructivos que respondan a criterios de prefabricación liviana. En función de esto se prosigue en primer lugar, al diseño conceptual y detallado del sistema a partir del análisis de la necesidad y el estudio de antecedentes directos e indirectos, para luego proceder a la validación estructural preliminar de los componentes principales del mismo a través de prototipos físicos ensayados empíricamente.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO



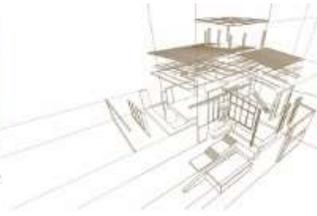
Es un sistema estructural en madera de prefabricación liviana que permite la construcción de viviendas de hasta dos pisos de altura a través de un montaje fácil y rápido. Su concepto permite el diseño de múltiples configuraciones espaciales a partir de una tipología mixta de muros portantes y vigas. Los componentes del sistema son fabricados por medio de listones de madera de Pino Caribe (*Pinus caribaea*) unidos en forma transversal por barras roscadas galvanizadas (madera tensada) (Giuliano y otros, 2011). Estos son fabricados en forma seriada y estandarizada mediante procesos de mecanizado y ensamblaje de poca complejidad. El sistema adquiere una alta estabilidad y resistencia a cargas gravitatorias y horizontales al configurar estructuras a partir de muros portantes arriostrados por vigas que se conectan a estos en forma continua mediante un sencillo método constructivo y en nodos específicos mediante herrajes metálicos como refuerzo sismo-resistente. Las vigas dispuestas a lo largo de los muros permiten generar vanos para puertas y ventanas de luces de hasta 2.40 m. Asimismo, la luz máxima de los espacios configurables se limita a 3.60 mts en función de la coordinación modular del sistema y del largo máximo comercial de los listones de madera sólida que las componen. Los componentes son fabricados en forma estandarizada y con dimensiones variables de acuerdo a una coordinación modular establecida.

3.1. Coordinación modular y dimensional

La coordinación modular del sistema se establece en función de las dimensiones útiles de los componentes constructivos las cuales son determinadas por su capacidad estructural, peso y composición. En este sentido todos los componentes se estandarizan a una dimensión de 225 mm x 90 mm dado por la disposición consecutiva de cinco listones de madera cepillada de 45 mm x 90 mm Tanto las dimensiones como la orientación de los muros de carga definen un sistema ejes modulares referidos a la distancia entre caras (Del Águila García, 2006) de los muros en un sentido y referido a los cantos de los muros en el otro. Con una zona muerta o ancho de ejes de 225 mm en un sentido y de 90 mm en el otro. La distancia interior entre ejes modulares es definida por módulos de 225 mm.

3.2. Criterios generales para el diseño de los componentes constructivos:

Con la finalidad de plantear un elemento constructivo sustentable y elaboración masiva, se propone el desarrollo de los paneles a partir de maderas de rápido crecimiento y bajo costo. En este caso se propone utilizar el Pino Caribe (*Pinus caribaea*); especie existente en muchos países de Centro América, así como en México y Venezuela y que corresponde al tipo estructural “C” según la clasificación establecida por la JUNAC (JUNAC 1998). Este pino posee propiedades físico-mecánicas muy similares a otras especies del mismo género utilizadas en otras regiones de América como el pino Radiata (*Pinus radiata*) en Chile y pino Eliottii (*Pinus elliottii*) en Argentina y Uruguay (JUNAC 1998). Asimismo, para la conformación de las placas tanto de muros como vigas, se plantea el uso de elementos de madera cepillada y seca al 12%, sin rigurosos procedimientos de selección, limitándose a una clasificación visual básica que evite la presencia de nudos muertos y grietas. La unión entre los listones se plantea a través de varillas roscadas galvanizadas de media pulgada (1/2”) de diámetro, como tensor transversal. Se selecciona éste elemento tanto por su amplia comercialización y fácil adquisición, como por su resistencia a la corrosión, lo que garantiza una alta durabilidad del componente en el tiempo.



Su fijación se plantea a través del uso de tuercas y doble arandela (plana y de presión). En cuanto a la manufactura del panel se busca que estos puedan ser fabricados con baja tecnología, lo que implica procesos sencillos que no requerían de equipos y maquinarias sofisticadas. De esta manera la fabricación solo requerirá de procesos de mecanizado básicos como corte, cepillado, canteado y perforado. Por otro lado, los componentes se fabrican en forma estandarizada según su función. Solo los componentes dispuestos en nodos estructurantes son adaptados en el sitio, según su condición específica de ubicación y conexión, mediante sencillos procesos de mecanizado manual implementados al momento del montaje.

3.4. Componentes del sistema

3.4.1. Panel vertical

El panel vertical tiene tanto una función portante como función de cerramiento. Se encuentra constituido por cinco listones cepillados de 45 mm x 90 mm x 2.20 m. Así, las dimensiones para el panel se establecen en 90 mm de espesor por 225 mm de ancho y 2.20 m de alto, y. Se plantea el armado del panel a través de 4 pernos de ½” de diámetro con distanciamiento mínimo de cada extremo de apoyo de 10 cm y distanciamiento entre pernos de 66.5 cm (véase figura 1).

3.4.2. Panel vertical de antepecho

Posee las mismas interfaces de ensamblaje que el panel de altura completa. Se dimensiona a 900 mm de altura como antepecho de ventanas (figura 2).

3.4.3. Viga

La viga posee una sección de 90 mm x 225 mm, por un largo variable en función de la luz requerida y la coordinación modular. Se encuentra constituida por cinco listones cepillados de 45 mm x 90 mm unidos a través de 5 pernos ubicados en los extremos a 100 mm con respecto al borde de la cara interna y con un máximo de 650 mm en puntos intermedios. Se ubica a nivel superior y a lo largo del muro funcionando como elemento arriostrante del muro o como dintel en vanos de puertas y ventanas (Figura 3).

3.4.4. Panel de entrepiso

El panel de entrepiso se plantea también como un elemento tensado de 225 mm de ancho, compuesto con 5 listones de 45 mm x 45 mm a excepción del listón central el cual posee una altura mayor de 140 mm por razones estructurantes (figura 4).

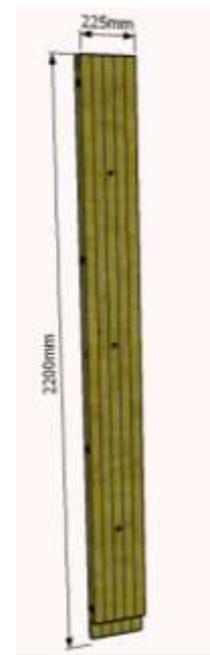


Figura 1:
al



Figura 2:
panel de antepecho



Figura 3: Viga



Figura 4: Panel de entrepiso



3.5. Ensamblajes y conexiones

3.5.1. Conexión a cimentación.

El tipo y las dimensiones de la cimentación va a depender del tipo de suelo. Dada la tipología estructural propuesta se recomiendan zapatas corridas o losas de fundación. En este sentido las conexiones se diseñan en forma sencilla a través de una solera basal de madera tratada dispuesta a lo largo del muro (figura 5). Asimismo, en el punto correspondiente a nodos de refuerzo entre vigas y muros se plantea el uso de un conector especial fabricado con un UPN de 80mm apernado a la cimentación y al panel de madera mediante un rebaje a media madera (figura 5).

3.5.1. Conexión entre componentes.

La conexión entre las vigas y el muro se plantea a través de lengüetas de tablero contrachapado de 18 mm (ver figura 10) con clavos de refuerzo transversal. Asimismo, la unión entre los elementos verticales que componen el muro se propone a través de placas de tablero contrachapado clavadas (figura 8). En los nodos de refuerzo se implementan conexiones de acero ocultas fijadas con pasadores metálicos (figuras 9, 11 y 12). La unión entre muro transversales se hace a través de la disposición de dos paneles en forma de “T” mediante pernos que se acoplan desde el canto de uno de los componentes hasta una caja dispuesta en el centro del otro, la cual permite la fijación de la tuerca. (ver figura 6)



Figura 5: Anclaje de muro a Cimentación corrida

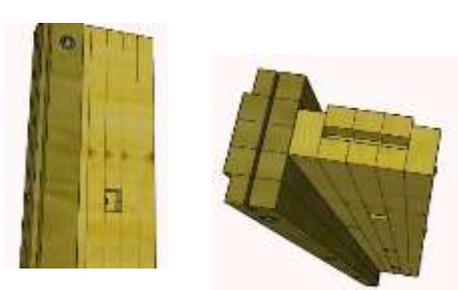
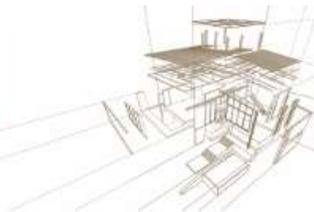


Figura 6: encuentro en “T” entre componentes ubicados en extremos del muro.



Figura 7: Configuración muro vista cara exterior



Lengüeta de ensamble entre paneles de muro. De contrachapado 18 mm clavada

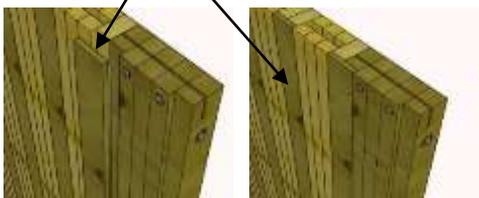
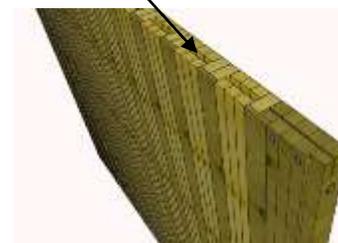


Figura 8: Lengüeta de ensamble entre paneles de muro. Hecha de contrachapado 18 mm (clavada)



Figura 9: Detalle de losa y muros de segundo piso sin revestir

Caja para acople de lengüeta de contrachapado de 18 mm



Anclaje con herraje metálico en nodo.

Caja para acople de lengüeta de contrachapado de 18 mm

Viga

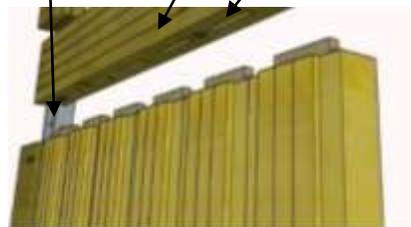


Figura 10: Ensamble Muro-Viga

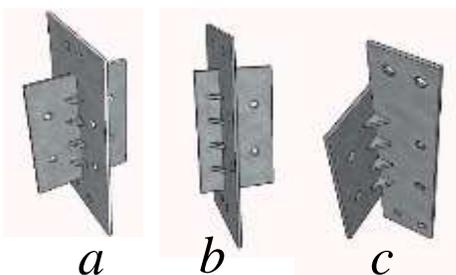


Figura 11: Herrajes de refuerzo en nodos Viga-Muro: Central, lateral y Esquina,

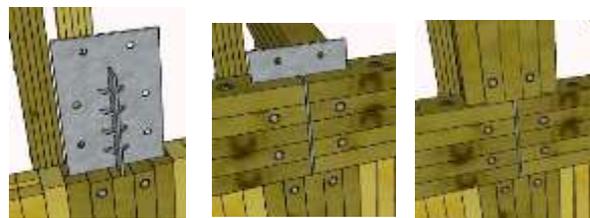


Figura 12: Secuencia de ensamble de conexión de refuerzo en nodos.



4. Descripción del proceso productivo de prototipos experimentales.

Para la construcción de los prototipos se utilizó un molde de madera construido ad hoc y prensas manuales (sargentos), con los cuales se pudo fabricar tres componentes al mismo tiempo (figura 13). La fabricación se hizo colocando los cinco listones en el molde para luego proceder a prensarlos y luego perforarlos en una sola operación. Luego de la perforación, en el mismo molde, se procedió a colocar los pernos, arandelas y tuercas para posteriormente apretarlos con herramientas manuales (rache) en un proceso práctico, sencillo y eficiente (véanse figuras 14, 15 y 16).



*Figuras 13 y 14:
Procesos de perforado
y de tensado.*



*Figura 15: Producción seriada
de los prototipos para su*



*Figura 16: Elemento
terminado.*

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Ensayos de compresión longitudinal en el elemento portante.

El elemento portante se diseñó como componente estructural que resiste cargas verticales en forma longitudinal a las fibras de la madera (Figura 18). Para efectos del ensayo a compresión longitudinal el elemento se confeccionó siguiendo las especificaciones establecidas en el diseño preliminar. Inicialmente los elementos se comportaron elásticamente, ya que después de cada descarga no experimentaron deformaciones permanentes. De la figura 17, se puede decir que este comportamiento se observó hasta una fuerza aproximada de 14.000 Kgf. en donde se registró un acortamiento de 0,12 mm. Finalmente, se alcanzó una fuerza de 19.900 Kgf. para un desplazamiento vertical de 5,4 mm, obteniéndose, luego de la descarga, un acortamiento de 0,4mm. En tal sentido es posible concluir que el elemento portante propuesto puede ser usado en el diseño de viviendas, tanto en un sistema aporticado como en la conformación de muros.

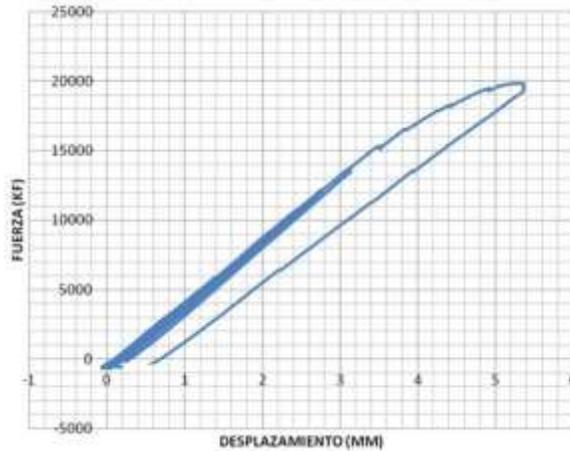


Figura 17. Gráfica experimental del elemento portante de madera tensada.

Figura 18. Elemento portante al inicio del ensayo.

En relación a los ensayos en elemento viga

La viga se propone como elemento estructural que resiste cargas verticales a lo largo de su longitud. Para comprobar la altura óptima de la viga se hicieron ensayos con vigas de 3 alturas distintas (225 mm, 270 mm y 315). En la figura 20 se observa que la viga de 225 mm de altura alcanzó una carga máxima de 1.197 Kgf. con un desplazamiento vertical en el centro de 1.80 cm. Mientras que las vigas de 270 mm y 315 mm para un desplazamiento de 2.60 cm lograron resistir 1.724 Kgf. y 2.299 Kgf. respectivamente. Durante el ensayo las vigas mostraron un comportamiento dúctil, ya que para la sección de 270 mm y 315 mm de altura se logró una carga máxima de 2.737 Kgf. y 3.597 Kgf. sin llegar a la fractura del componente, sin embargo, el ensayo se detuvo debido a que los desplazamientos obtenidos serían excesivos para el diseño de vigas con la longitud propuesta. En función de los resultados obtenidos el elemento viga de 315 mm tuvo, como se esperaba, mejores resultados, pues con este se logró reducir la flecha para un valor de carga similar entre los componentes ensayados. Además, si se considera como flecha admisible como $L/300 = 0,80$ cm, este elemento es capaz de soportar aproximadamente una fuerza puntual en el centro de la luz de 1.000 Kgf. Por lo tanto, para el diseño de viviendas en base a elementos de madera tensada se recomienda establecer una configuración estructural con una longitud máxima de 2.40 m, con el fin de mantener el control de la flecha dentro de los límites establecidos tanto en la conformación de vigas como en dinteles. Por otro lado, es importante destacar que la excesiva flexión de las vigas se produjo debido al desplazamiento longitudinal observado entre los listones. Lo que permite concluir que el solo apernado planteado por simplificación constructiva no es suficiente. De manera que se considera que colocando conectores de corte entre los listones que componen la viga, el desplazamiento se restringiría totalmente, optimizando así el comportamiento del componente constructivo. Así mismo el ensayo no consideró el empotramiento en los extremos de la viga lo que se considera también puede contribuir con la eficiencia de la misma.



Figura 19. Elemento viga de 30 cm de altura al inicio y final del ensayo.

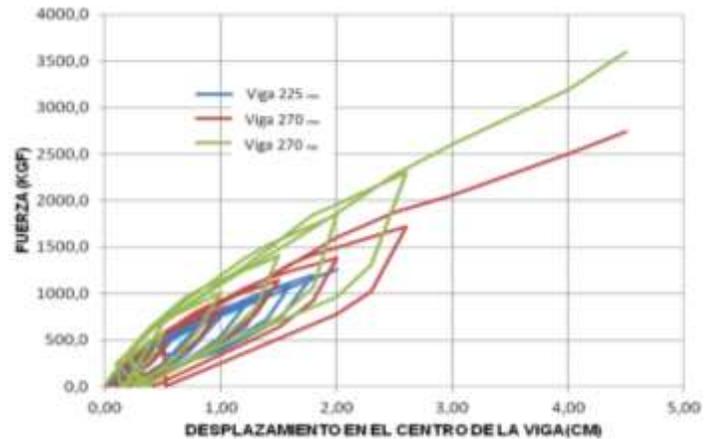


Figura 20. Gráfica experimental de los elementos de viga de madera tensada.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño y validación preliminar del sistema constructivo Xilo-Tens cumplió con los objetivos principales establecidos para el proyecto, los cuales buscaban en principio aportar una solución eficaz, para la construcción prefabricada de viviendas sustentables adaptándose a recursos tecnológicos y materiales asequibles en países Latinoamericanos. Bajo estos criterios se pudo concebir una propuesta factible, que implementa una mínima cantidad de componentes constructivos estandarizados que permiten la construcción de múltiples configuraciones estructurales. La construcción de prototipos de componentes permitió comprobar la sencillez de los procesos de fabricación.

En cuanto a la composición de los elementos constructivos verticales, de manera específica podemos concluir, que el uso de pernos (tensores) garantiza que los listones de madera se comporten como un elemento estructural sólido y estable, ya que en los ensayos experimentales no se observó separaciones entre listones o fallas en los pernos. En cuanto a las vigas se recomienda buscar opciones constructivas que optimicen su comportamiento estructural para lograr un ancho igual al de los elementos verticales. Así mismo las cargas máximas soportadas por los componentes, deformaciones y modos de falla observados en los ensayos, permiten concluir que estos podrían ser usados como elementos estructurales para viviendas. La propuesta planteada implica una solución de énfasis tecnológico que contribuye al desarrollo de viviendas sostenibles. El desarrollo y aplicación de sistemas constructivos a partir de estos elementos facilitará la implementación de políticas de auto gestión y auto construcción de viviendas por parte de la población, permitiendo alcanzar una solución que integre de manera acertada los aspectos económicos, ambientales y sociales requeridos para la sostenibilidad.

Por último es importante destacar que para el diseño definitivo del sistema se hace imprescindible la validación tanto de las conexiones como del panel de entepiso. Sin embargo, el proceso de validación preliminar el cual consistió en la determinación de las capacidades de resistencia de los componentes



principales del sistema a través de ensayos experimentales, nos permite asegurar que éste se perfila como una solución eficaz y eficiente para la construcción sustentable de viviendas en países en desarrollo. En definitiva, la propuesta tecnológica constituye una solución pertinente para la construcción sostenible de viviendas en el contexto ambiental, social y económico de América Latina como región emergente y en desarrollo con uno de los mayores potenciales de crecimiento poblacional a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido desarrollado en el Centro de Investigaciones de la Vivienda y el Hábitat de la Universidad de Los Andes, Venezuela, bajo el financiamiento del Fondo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (FONACIT) y el CDCHTA-ULA con el código: A-760-10-09-C. Asimismo, debe destacarse la colaboración en la realización de los ensayos experimentales, del Laboratorio de Productos Forestales, ULA, del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Escuela de Civil de la Facultad de Ingeniería, ULA, y del Laboratorio de Mecánica Estructural, UCLA.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

Del Águila García, A (2006). Industrialización de la edificación de viviendas. Maireia Libros, Madrid, España.

Hempel, R. (2008). Sistemas constructivos de madera sólida, Universidad del Bio Bio, Concepción, Chile.

Hempel R., Poblete C. (1994). Cuaderno de la edificación en madera N°7: Sistemas estructurales en madera. Concepción, Chile: Universidad del Bio Bio.

Hurtado, J. (2000). Metodología de la Investigación Holística, IUTC-SIPAL, Monagas, Venezuela.

JUNAC. 1984. Manual de Diseño para Maderas del Grupo andino. Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REFORT. 1984. Lima, Perú. 205.

Mc Donnell , H. (1999). Manual de construcción industrializada. Revista vivienda SRL, Buenos Aires, Argentina

Riba C. (2002). Diseño Concurrente, EDICIONS UPC, Cataluña, España.

Salas J. (2000), La industrialización posible de la vivienda latinoamericana. ESCALA, Bogotá, Colombia.

Recursos electrónicos e internet:

Brettstapel Construcción, recuperado en marzo 2012 de <http://www.brettstapel.org>

Giuliano M. y otros. (2011). Manual de diseño, construcción, mantención y monitoreo de tableros de Madera tensado. Recuperado el 3 de febrero de 2012 de <http://www.cttmadera.cl>.

Programa 21. (1992). Recuperado el 25 de junio de 2014 de: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21>

ONU-HABITAT. 2017. Viviendas y asentamientos precarios. En línea: <http://es.unhabitat.org> Recuperado: 19/3/2017]