

# ARTÍCULO



## Artículo

### EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS DE MADERA TENSADA APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS

555

*Evaluation of structural stressed wood used for construction*

MAURICIO VARGAS<sup>1</sup>, MAYLETT UZCÁTEGUI<sup>1</sup>,  
RICARDO PICÓN<sup>2</sup> y SCARLET MONTILLA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Centro de Investigaciones de la Vivienda y el Hábitat, Venezuela. E-mails: [mvgas@ula.ve](mailto:mvgas@ula.ve) – [mauricio.vargasm@gmail.com](mailto:mauricio.vargasm@gmail.com); [maylett@ula.ve](mailto:maylett@ula.ve)

<sup>2</sup> Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Decanato de Ingeniería Civil. Laboratorio de Mecánica Estructural. Lara, Venezuela. E-mail: [rpicon@ucla.edu.ve](mailto:rpicon@ucla.edu.ve)

<sup>3</sup> Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Ingeniería Estructural. E-mail: [scarlet.kmb@gmail.com](mailto:scarlet.kmb@gmail.com)

Recibido: 06/04/15. Aceptado: 10/12/15.

#### RESUMEN

La necesidad de crear nuevos sistemas constructivos en base a madera para viviendas, surge al considerar las pocas alternativas existentes en países en desarrollo que garanticen una construcción económica, masiva y fundamentalmente sostenible. En este sentido, la presente investigación pretende hacer un aporte para la implementación de nuevos elementos estructurales para la construcción sostenible de viviendas de madera, que puedan ser fabricados mediante procesos de baja tecnología, permitiendo un fácil uso y apropiación por parte de la población en general. Específicamente se trata de un estudio sobre el desempeño de elementos tensados de madera, utilizados como componentes estructurales para viviendas. Para alcanzar los objetivos del proyecto se plantea el diseño de los elementos a partir del estudio de antecedentes y requerimientos contextuales, luego se procede a la validación constructiva y estructural de los mismos a través de la fabricación de prototipos y de ensayos experimentales.

**PALABRAS CLAVE:** Vivienda, madera, sostenibilidad, componentes constructivos, madera tensada.

## SUMMARY

The need to develop new structural wood systems for housing construction arises from the lack of current alternatives in developing countries that could ensure an economical, extensive and, fundamentally, sustainable approach to building. Therefore, this research attempts to contribute to the implementation of new structural elements for the sustainable construction of wooden houses, which can be manufactured using low-tech processes, making them accessible and easy to use. Specifically, we will report on the performance of tensioned elements of wood, used as structural components in housing construction. In order to achieve the project objectives, the building components were designed following a relevant literature review and contextual knowledge. Then a constructive and structural validation was undertaken through prototypes and experimental trials.

**KEY WORDS:** Housing, wood, sustainability, construction components.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la construcción en madera ha alcanzado un gran desarrollo a nivel mundial con una importante tendencia hacia la prefabricación e industrialización.

La necesidad de crear nuevos componentes constructivos en base a madera surge al considerar las pocas alternativas existentes en los países en desarrollo para la construcción de viviendas en forma económica, masiva y sostenible. En este sentido, el planteamiento de nuevas propuestas debe tomar en cuenta la utilización de los recursos tecnológicos limitados que en esta materia poseen la mayoría de estos países. Así mismo debe considerarse la resistencia social y cultural que representa el introducir materiales y tecnologías constructivas distintas a los que tradicionalmente se usan a nivel general.

Si bien todo esto representa ciertas limitaciones iniciales, asumir este reto resulta importante tomando en cuenta el hecho de que en la actualidad en muchos países en desarrollo la construcción de la cantidad de viviendas requeridas en función del déficit, generará a mediano y largo plazo, impactos ambientales no deseables si se siguen implementando las tecnologías de construcción predominantes. Por tal motivo se considera que es el momento de plantear nuevas y eficientes alternativas constructivas que permitan el uso de materiales sostenibles bajo criterios de racionalización, prefabricación y/o industrialización de la construcción, en coherencia con el desarrollo de tecnologías sostenibles.

Entre los distintos sistemas constructivos prefabricados en base a madera para la construcción de viviendas existentes se encuentran los denominados sistemas de madera sólida (Hempel,

2009), distinguiéndose entre ellos, aquellos constituidos por listones o tablas unidas por distintos medios, ya sean adhesivos, clavos o tarugos. Este tipo de sistema, garantiza una mayor sustentabilidad de producción, al usar esencialmente madera sólida sin requerir de productos elaborados bajo sofisticados procesos tecnológicos.

En este sentido la presente investigación pretende hacer un aporte para la creación de nuevos elementos estructurales en base a madera sólida o maciza que puedan ser fabricados mediante procesos de baja tecnología, permitiendo una fácil apropiación general por parte de la población, planteándose así como objetivo general: determinar el desempeño estructural de elementos constituidos a partir de madera tensada con la finalidad de validar su uso en la construcción de viviendas. Asimismo se proponen como objetivos específicos: 1. Establecer criterios de diseño y fabricación de los elementos a partir del análisis de antecedentes directos e indirectos; 2. Establecer criterios de sostenibilidad y bajo costo para la fabricación de los elementos; 3. Determinar el desempeño estructural de los elementos a partir de ensayos experimentales.

## **2. CONTRIBUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA Y DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA A LA DISMINUCIÓN DEL DEFICIT HABITACIONAL EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE (ALC)**

Según datos manejados por la ONU para el 2030 cerca de 3 billones de personas, lo que corresponde al el 40% de la población del mundo, necesitarán tener acceso a viviendas. Así mismo se afirma que las viviendas requeridas en América Latina y el Caribe se estiman alrededor de 42 y 52 millones (ONU-HABITAT, 2015). Observando este crudo panorama no es difícil concluir que construir tal cantidad de viviendas con las tecnologías constructivas implementadas en forma general hasta la fecha, sobre todo en regiones en desarrollo, implicaría un impacto ambiental considerable. De igual forma, por la condición no sostenible de la mayoría de estas tecnologías, la meta sería definitivamente inalcanzable.

Solo a través visión realmente sostenible puede abordarse de manera eficaz, concreta y viable el reto de proveer a la población mundial, y en especial a las ubicadas en regiones aún en desarrollo, como es el caso de América Latina y el Caribe (ALC), de las viviendas e infraestructura urbana requerida para vivir en forma digna, satisfaciendo así sus derechos humanos fundamentales. Para alcanzar este noble objetivo son muchos y complejos los factores que deben ser abordados. Esto implica la búsqueda de soluciones adecuadas que integren y aborden en forma acertada aspectos sociales, económicos y ambientales.

Desde este punto de vista, el desarrollo de nuevas tecnologías constructivas debe manejarse como eje transversal y articulador de los tres aspectos expuestos anteriormente. En este sentido, esta investigación, de énfasis tecnológico, tiene como finalidad aportar una solución pertinente para la construcción e industrialización sostenible de viviendas en ALC.

Esta se centra en el desarrollo de elementos constructivos de producción masiva elaborados en base a madera, siendo este un material de gran potencial sostenible si se maneja en forma racional. La producción de madera, desde el punto de vista de impacto ambiental (tomado en cuenta la energía incorporada al material), requiere del consumo de una cantidad de energía considerablemente menor que el resto de los materiales de uso convencional en la construcción. Y es que según Schneider, citado por Fournier (2008), la producción de una tonelada de madera demanda 580kw/h es menor que la de aluminio con 126 veces más; la de acero, 24 veces más; vidrio, 14 veces más; productos sintéticos, 6 veces más; cemento, 5 veces más; y la de ladrillos, 4 veces más. A esto debe agregarse que la madera es un material que proviene de bosques y plantaciones que constituyen grandes fuentes de oxígeno, por lo que si se hace un uso sostenible de estos, la producción de madera aportaría en su proceso grandes beneficios para el planeta.

558

Por otro lado, desde el punto de vista tecnológico, debe entenderse que la cantidad de viviendas requeridas para satisfacer la demanda y urgencia social mundial (ya reseñada anteriormente) implica necesariamente la implementación de una producción masiva, por lo que la industrialización de la construcción resulta un factor fundamental. En este sentido la propuesta de investigación implica un aporte para el alcance de una industrialización realmente sostenible, adaptada a la realidad socio-económica de ALC como región en desarrollo.

Para ello se considera necesario plantear un ajuste en la formula de industrialización definida por Blachère, citado por del Águila García (2006), la cual implica la sumatoria de procesos de mecanización, racionalización y automatización. Dicho ajuste se centra en la redefinición de los procesos de automatización, los cuales en su forma convencional pueden ser vistos como un factor negativo, en cuanto que plantea la sustitución y eliminación de la mano de obra, siendo un recurso indispensable para el sustento de la población en vías de desarrollo. En este sentido la automatización se redefine como un factor que contribuya a la disminución eficiente de jornadas de trabajo y provea seguridad y salud laboral. Por otro lado la automatización implementada en forma estricta implica en muchos casos el uso de una alta y sofisticada tecnología no producida en países en vías de desarrollo que limitaría el uso y apropiación de estas por parte de la población en general, por lo que se busca siempre una adaptación a los recursos disponibles en estos países.

Por todo lo anteriormente expuesto se considera que la construcción en madera, y la tecnología propuesta en base a este material, constituyen alternativas viables para la construcción de viviendas en forma sustentable en ALC.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

559

Los objetivos de investigación se establecen partir del enunciado holopráxico: *¿Es posible el uso de elementos constituidos a partir de listones de madera sólida y tensores metálicos (elementos de madera tensada) como componentes estructurales para la construcción de viviendas en forma masiva y sostenible?* En función de esto se plantea en primer lugar, el diseño de los componentes a partir del análisis de la necesidad y el estudio de antecedentes directos e indirectos, para luego proceder a la validación constructiva y estructural de los mismos a través de la fabricación de prototipos físicos y la aplicación de ensayos experimentales.

#### 3.1. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Con esta investigación se pretende determinar si es posible el uso de elementos de madera tensados como componentes estructurales para viviendas. En este sentido se plantea su uso cómo elementos portantes y como vigas de carga.

##### 3.1.1. ANTECEDENTES

Los sistemas constructivos en madera para viviendas o luces menores pueden clasificarse en sistemas de entramados ligeros y sistemas de madera sólida, según la clasificación establecida por Hempel y Poblete (2004). Dentro de los sistemas de madera sólida mayormente utilizados se conocen los sistemas de placas, los cuales son elaborados a partir de piezas de madera maciza conformados por tablas o listones de madera ya sean clavados, atarugados o encolados. A partir de la disposición consecutiva de estos elementos se construyen tabiques o muros portantes pudiéndose conformar estructuras de varios niveles.

Para esta investigación, dada su simplicidad funcional y constructiva, se toman como puntos de partida, tanto las placas de madera atarugada (Brettstapel) desarrollada actualmente para la construcción de viviendas en Europa, como los tableros de madera tensados utilizados en estructuras de puentes descritos a continuación:

### 3.1.1.1. PLACAS DE MADERA ATARUGADA

Las placas de madera atarugada conocidas también como Brettstapel son elementos elaborados a partir de listones unidos por sus caras a través de tarugos de madera dispuestos cada 40 cm, conformando así placas de 40 a 60 centímetros de ancho (Figura 1). Estos elementos fueron creados por el Ingeniero Julius Natterer en la década de los años 70, y hoy en día se siguen fabricando en países como Austria, Alemania y el Reino Unido, representando una alternativa con grandes ventajas ambientales pero con elevados costos de producción ya que involucra mayor cantidad de madera que otros sistemas constructivos elaborados en base a este material.

560



**FIGURA 1.** Placas atarugadas (Brettstapel). Fuente: Wikiwnad (2015).

Las placas atarugadas son utilizadas para la conformación de sistemas constructivos de tabique sólido, aplicándose en la construcción de placas de entrepisos, cubiertas de techo y fundamentalmente de muros portantes. Esta última función es tomada en cuenta como referencia en esta investigación para el desarrollo del concepto de los elementos de madera tensada dado su óptimo desempeño como elemento que resiste cargas verticales en forma longitudinal y paralela a las fibras de la madera. Es importante destacar que la fabricación de estas placas requiere un manejo preciso de condiciones técnicas adecuadas y de procesos de cierta complejidad, por lo que en los componentes propuestos en esta investigación se plantea sustituir los tarugos por pernos, garantizando así un proceso de fabricación más fácil y apropiable.

### 3.1.1.2. TABLEROS DE MADERA TENSADOS

La tecnología de laminación tensada de madera fue desarrollada originalmente en Canadá en el año 1976 para la conformación de estructuras en puentes. Posteriormente en la década de los años ochenta esta tecnología fue implementada también en Estados Unidos (Giuliano *et al.*, 2011). Consiste en la constitución de tableros a partir de tablones dispuestos de canto, tensados en la dirección transversal por medio de barras de acero de alta resistencia. El tablero actúa como una placa sólida de madera, cuya función estructural es repartir las cargas en forma uniforme (Figura 2).

Estos tableros, fueron diseñados para trabajar a flexión soportando cargas perpendiculares a la fibra de la madera. La sección rectangular de cada tablón de madera y su ubicación de canto garantiza la inercia adecuada para soportar los esfuerzos a flexión. Así mismo, la unión de los tablones a través de pernos de acero permite la conformación de un elemento de gran resistencia y estabilidad estructural.



**FIGURA 2.** Tableros de madera tensada usados en puentes. Fuente: CCTMADERA (2015).



Es importante destacar que estos tableros tensados han sido desarrollados para conformar estructuras de puentes, sin embargo en esta investigación se establece su uso como elemento portante o viga. De igual forma la unión en forma tensada de los tablones a través de pernos de acero se toma como criterio para conformar elementos constructivos de fácil y eficiente fabricación.

### 3.1.2. CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS

Con la finalidad de conseguir un elemento constructivo sostenible y de producción masiva, se propone el desarrollo de los elementos a partir de maderas de rápido crecimiento y bajo costo. En este caso se plantea utilizar el Pino Caribe (*Pinus caribaea var. Hondurensis*), especie usada en muchos países de Centro América, así como en México y Venezuela, y que corresponde al tipo estructural "C" según la clasificación establecida por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (JUNAC, 1984).

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 Eliotis (*Pinus elliottii*) en Argentina, Uruguay y parte de los Estado Unidos. Así mismo, para la conformación de los elementos se plantea el uso de piezas 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.

Para la unión de las tablas se plantea el uso de barras o varillas roscadas galvanizadas de ½" pulgadas de diámetro, como tensor transversal (Figura 3). Se selecciona este elemento por ser de amplia comercialización y fácil adquisición, de igual forma se selecciona por ser un elemento galvanizado, 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).

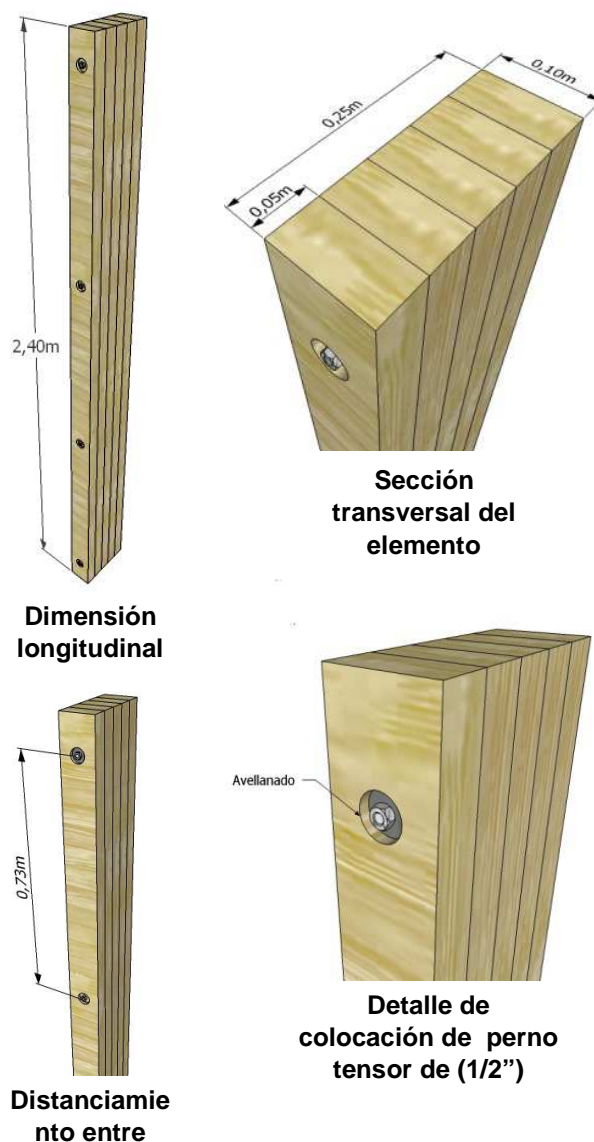
Con respecto a las dimensiones de los elementos, estas se establecen, en primer lugar, en función de las medidas mínimas requeridas para la conformación de los espacios de una vivienda, asimismo se toma en cuenta que puedan ser manipulados y transportados con facilidad por dos personas.

En cuanto a la manufactura del elemento se busca que estos puedan ser fabricados con baja tecnología, lo que implica procesos sencillos y rápidos que no requieran de equipos y maquinarias sofisticadas, limitándose al uso de procesos de mecanizado básicos como cepillado, canteado y perforado.

### 3.1.3. DISEÑO DEL ELEMENTO PORTANTE

Las dimensiones del elemento se establecen tomando en cuenta una modulación adecuada para garantizar un montaje y ensamblaje eficientes de acuerdo a las dimensiones básicas utilizadas en viviendas. En este sentido, se fijan las siguientes dimensiones: 2,40 m de alto; 0,25 m de ancho; 0,10 m de espesor. El ancho se establece como medida promedio que permita extrapolar características mecánicas a elementos de un ancho mayor o menor en caso de requerirse. De igual forma el espesor de 0,10 m responde a criterios de carácter técnico-productivo con el cual se busca elaborar el elemento partir de piezas de madera con escuadrías convencionales de amplia comercialización y a su vez conseguir un ancho estándar de muro. Se plantea el armado del elemento a través de 4 pernos distanciados a 10 cm de los extremos y 73 cm entre ellos (Figura 3).

Por ello se construyeron especímenes a escala real. Para cada uno se usaron 5 listones de madera de pino caribe, unidos a través de cuatro (4) pernos



**FIGURA 3.** Características del elemento portante. Fuente: Elaboración propia.

distanciados a 10 cm de los extremos y 73 cm entre ellos, dando como resultado un elemento de 2,40 m de alto, 0,25 m de ancho y 0,10 m de espesor. Para su conformación se usaron listones de pino con una clasificación visual simple donde se descartaron, nudos muertos, fendas de crecimiento, canto muerto y presencia de nudos centrales en los listones ubicados en los extremos del elemento. Los pernos fueron apretados con una fuerza de 5 kg haciendo uso de un taquímetro.

El programa experimental se realizó en el Laboratorio de Mecánica Estructural (LME) de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA), Venezuela. El cual está conformado por un marco de ensayo de 4,60 m de ancho, 5,50 m de alto y una profundidad 8,00 m, para una capacidad máxima de 200 ton.

Para la aplicación de la carga el equipo utilizado consiste en un actuador hidráulico que tiene un recorrido máximo de desplazamiento de 250 mm en un rango de -125 a +125 mm, y es capaz de aplicar una carga estática máxima de 25 ton. y 12.5 ton de forma dinámica.

Se ensayaron tres especímenes con las mismas características dimensionales y constructivas. Cada elemento se sometió a fuerzas uniaxiales de compresión con descargas elásticas. En la figura 5 se observa el elemento portante al inicio del ensayo, y en la figura 6 se muestra la gráfica fuerza versus desplazamiento obtenida como resultado promedio de los tres ensayos.

#### 3.1.4. DISEÑO DEL ELEMENTO VIGA

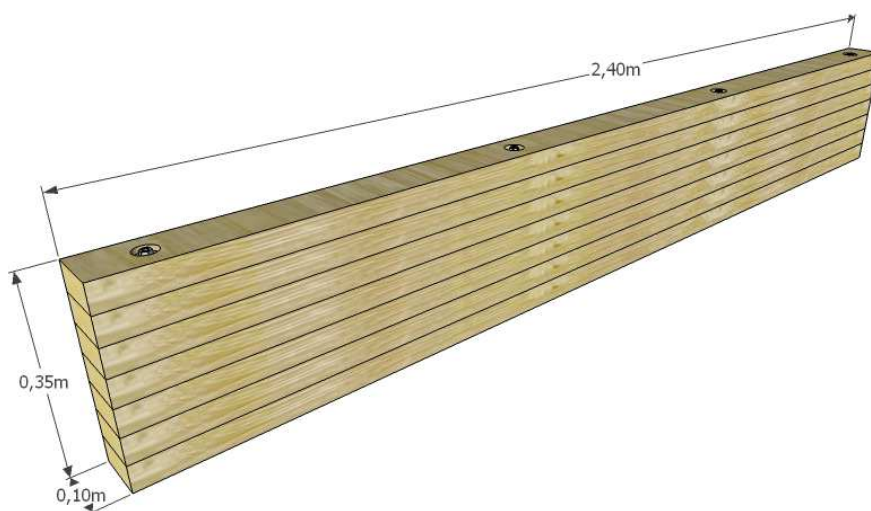
El elemento viga se diseña como elemento estructural que resiste cargas verticales a lo largo de su longitud. Su aplicación puede establecerse tanto en sistemas estructurales en base a muros portantes como en sistemas aporticados. Las medidas se fijan en función a análisis numéricos realizados previamente, así como de acuerdo a las dimensiones funcionales mínimas requeridas para el componente. De acuerdo a esto, se establecen las siguientes dimensiones: 2,40 m de largo; 0,35 m de altura; 0,10 m de espesor. En cuanto a su construcción se propone el uso de 4 pernos distanciados cada 73 cm para la unión de los listones, de acuerdo a una coordinación modular previamente establecida (Figura 4).

Inicialmente se diseñó con una longitud de 3.40 m de largo, 0.35 m de altura y 0.10 m de espesor, sin embargo bajo cargas muy pequeñas se observaron deformaciones excesivas, haciendo imposible controlar la fecha dentro de los límites de funcionalidad. Por lo tanto, con la finalidad de evaluar la relación altura longitud del elemento viga más eficiente ante las

solicitaciones a la que será expuesto, se ensayaron tres (3) vigas de 2.40 m de longitud y 0.10m de espesor, con alturas distintas de 0.25 m (5 listones), 0.30 m (6 listones) y 0.35 m (7 listones).

Para cada una de ellas se usaron listones de madera de pino Caribe, unidos a través de 4 pernos distanciados a 10 cm de los extremos y 73 cm entre ellos. Los listones de pino se clasificaron visualmente donde se descartaron, nudos muertos, fendas de crecimiento, canto muerto y presencia de nudos centrales en los listones ubicados en el área traccionada de la viga. Los pernos fueron apretados con una fuerza de 5 kg haciendo uso de un torquimetro.

El programa experimental se realizó en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. La máquina usada consiste en una prensa hidráulica con una capacidad de carga de 50 ton. Cada ensayo consistió en someter al elemento viga a una fuerza vertical en el centro de su longitud, estando este apoyado solamente en los extremos generando una luz libre de 1.95 m.



**FIGURA 4.** Dimensiones del elemento viga. Fuente: Elaboración propia.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La construcción de prototipos físicos de los elementos de madera tensada y su posterior sometimiento a ensayos experimentales se realizaron con la finalidad de evaluar, tanto los procesos de fabricación propuestos, como el comportamiento estructural de los componentes.

##### 4.1. CON RESPECTO A LA PERTINENCIA TECNICO-PRODUCTIVA DE LA PROPUESTA, EN FUNCIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LOS ASPECTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES, REQUERIDOS PARA ALCANZAR LA SOSTENIBILIDAD.

Los elementos constructivos propuestos fueron ideados con la finalidad de alcanzar una tecnología sostenible para la construcción de viviendas en América Latina y el Caribe como región emergente y en desarrollo. En este sentido, la propuesta, de énfasis tecnológico, se concibe desde una visión integral de la sostenibilidad que involucra aspectos sociales, económicos y ambientales. El uso de la madera de por sí, implica un avance en este sentido ya que, como se ha expuesto anteriormente, constituye un material de fácil adquisición, económico y de mínimo gasto energético en cuanto a su producción, abordándose con esto de manera acertada aspectos ambientales y económicos. Así mismo constituye un material de fácil trabajabilidad y apropiación por parte de la población en general, lo que impacta directamente en aspectos sociales y económicos.

Con la elaboración de los prototipos físicos pudo comprobarse que la propuesta en sí, la cual plantea la conformación a partir de listones de madera sólida unidos de una manera simple a través elementos metálicos de fácil adquisición comercial, como lo son las barras roscadas de acero, arandelas y tuercas, constituye una alternativa viable en función de los recursos evaluados. Así mismo se comprobó que los procesos de mecanización seleccionados, siendo simples y de uso convencional en la industria maderera serán de fácil apropiación y uso por parte de la población en general.

En esta investigación, se logró verificar la pertinencia y factibilidad de los materiales y procesos productivos propuestos, en coherencia con la eficiencia estructural de los elementos y con una producción sostenible; acorde con la realidad social y económica de América Latina y el Caribe.

#### 4.2. EN RELACIÓN AL ENSAYO EN ELEMENTO PORTANTE

El elemento portante se diseñó como componente estructural que resiste cargas verticales en forma longitudinal a las fibras de la madera (Figura 5). Para efectos del ensayo 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 6, 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 5.** Elemento portante al inicio del ensayo.

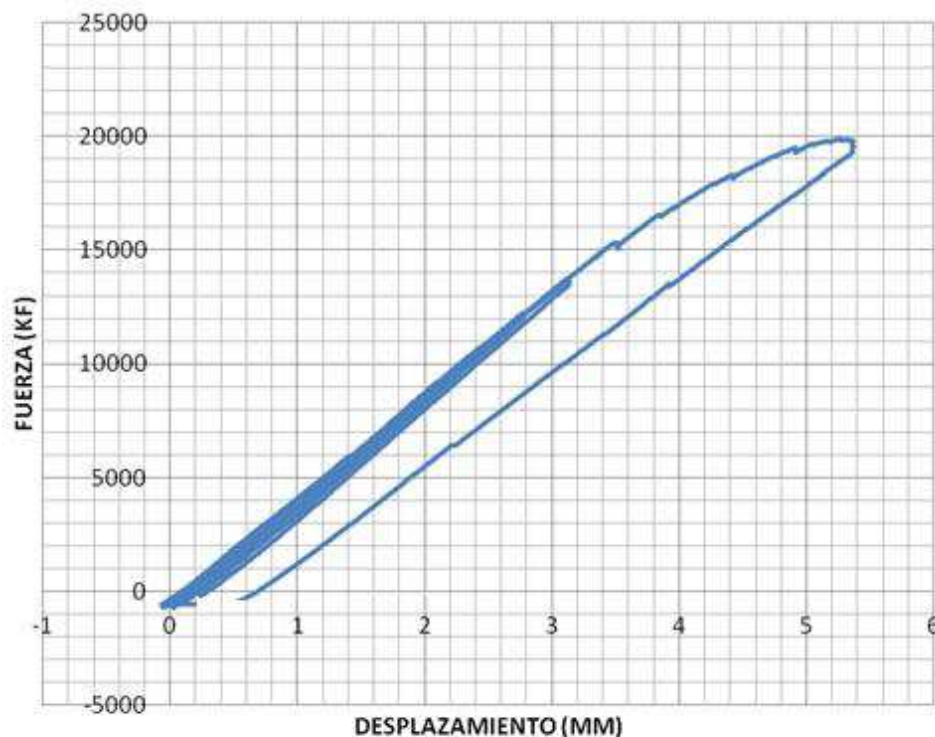


FIGURA 6. Gráfica experimental del elemento portante de madera tensada.

### 4.3. 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. En la figura 7 se observa el elemento viga (6 listones), y en la figura 8 se muestra la respectiva gráfica fuerza versus desplazamiento de los diferentes elementos de viga ensayados.

En la figura 8 se observa que la viga de 25 cm 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 30 cm y 35 cm para un desplazamiento de 2.60 cm lograron resistir 1.724 Kgf y 2.299 Kgf respectivamente. Además durante el ensayo las vigas mostraron un comportamiento dúctil, ya que para la de sección de 30 cm y 35 cm 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.

Finalmente, en función de los resultados obtenidos se propone el elemento viga de 0.35 m de altura, 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.



**FIGURA 7.** Elemento viga de 30 cm de altura al inicio y final del ensayo.



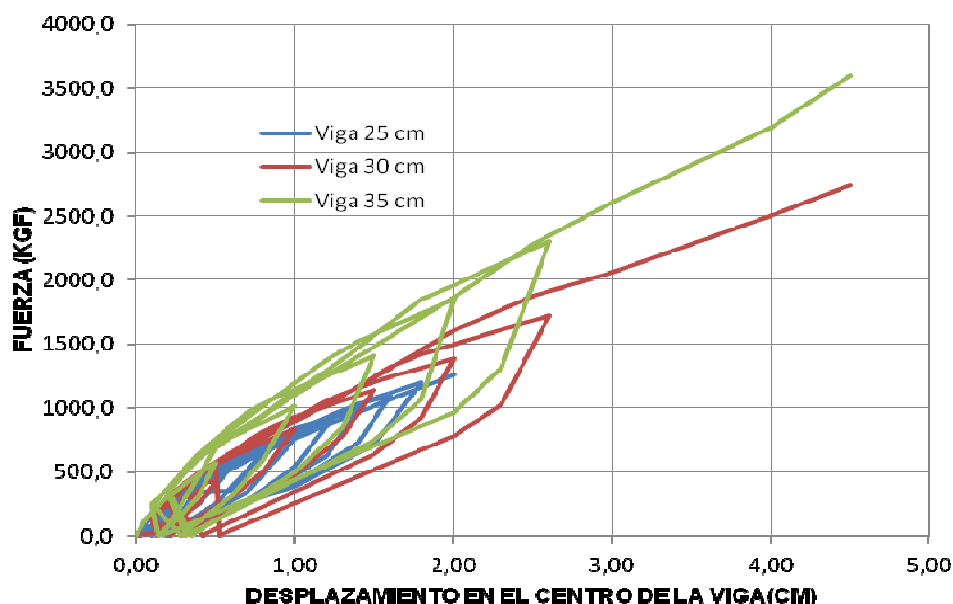


FIGURA 8. Gráfica experimental de los elementos de viga de madera tensada.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De manera específica podemos concluir en cuanto a la composición de los elementos constructivos propuestos, 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. De esta manera se cumple con uno de los propósitos de esta investigación que es lograr un proceso de fabricación eficaz, fácil y apropiable. 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. Sin embargo, el siguiente paso consiste en el diseño de sistema estructurales en base a elementos de madera tensada, requiriéndose una evaluación de la interacción entre los distintos componentes, uniones y condiciones de apoyo que les permita desarrollar la resistencia y ductilidad adecuada ante las distintas cargas que pueda estar sometida la estructura a lo largo de su vida útil.

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.

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 y el Caribe como región emergente y en desarrollo con uno de los mayores potenciales de crecimiento poblacional a nivel mundial.

## 6. 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.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUILA GARCÍA, A. DEL. 2006. *Industrialización de la edificación de viviendas*. Maireia Libros, Madrid, España.

FOURNIER, R. 2008. *Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades*. Tecnología en Marcha, Vol. 21, N.º 4, Octubre-Diciembre 2008, pp. 92-101. En línea: <http://www.redib.org> [Consultado: 06/02/2015]

GIULIANO M., P. DECHENT y R. SILVA. 2011. *Manual de diseño, construcción, mantención y monitoreo de tableros de Madera tensados*. En línea: <http://www.cttmadera.cl> [Consultado: 03/02/2012]

HEMPEL, R. 2009. *Sistemas constructivos de madera sólida*. Universidad del Bio Bio. Concepción, Chile. 145 p.

HEMPEL R., y C. POBLETE. 1994. *Cuaderno de la edificación en madera N°7: Sistemas estructurales en madera*. Universidad del Bio Bio. Concepción, Chile. 35 p.

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

WIKIWNAD. 2015. *Sistema Brettstapel*. En línea: <http://www.wikiwnad.com> [Consultado: 18/05/2015]

CCTMADERA. 2015. *Tableros tensados de madera*. En línea: [www.cctmadera.cl](http://www.cctmadera.cl) [Consultado: 19/05/2015]

ONU-HABITAT. 2015. *Viviendas y asentamientos precarios*. En línea: <http://es.unhabitat.org> [Consultado: 19/3/2015]