

CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES PARA FORJADOS DE MADERA SOMETIDOS A FLEXIÓN*

CHARACTERIZATION OF THE STRUCTURAL COMPONENTS FOR WOOD SLABS SUBJECTED TO BENDING

ANTONIO CONTI

Arquitecto (UCV, 1974). Profesor asistente. Áreas de Investigación: Sustentabilidad, transferencia; tecnologías, procesos de producción y nuevos materiales para la industria de la construcción.
aconti@idec.arq.ucv.ve

GLADYS MAGGI

Ingeniero Civil. (UCV, 1973). Magister Scientiarum y Doctorado en Ingeniería Estructural Facultad de Ingeniería, UCV (1984-1989) y (1995-1999). Área de Investigación: Desarrollo Tecnológico de la Construcción.
glamaggi@gmail.com

RESUMEN

Análisis de los ensayos de laboratorio de vigas compuestas con madera y tableros estructurales de virutas orientadas, de sección 'doble T', sujetas a flexión, para configurar forjados horizontales e inclinados, pisos, entresijos y techos para el sistema constructivo "Viviendas con madera de Pino Caribe".

Estos componentes, al igual que su aplicación posterior, apuntan al desarrollo y la transferencia de conocimientos y apropiación social para la construcción de viviendas bajo el enfoque de la agenda para la sostenibilidad de la construcción desarrollada en el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

Inscrito en ese marco, el objetivo fundamental de esta etapa del estudio corresponde a la comprobación del pre-dimensionamiento que arroja el análisis estructural de los componentes constructivos, vigas principales y secundarias, destinados básicamente a solventar solicitudes de cargas verticales, de acuerdo con lo establecido en la normativa venezolana para el uso vivienda, y con criterios de construcciones sustentables y autogestionadas.

Descriptores

Ensayos a flexión, vigas compuestas Pino Caribe-OSB, viviendas autogestionadas, transferencia tecnológica.

ABSTRACT

Analysis of the laboratory tests of composed joists with wood and structural boards of oriented wood chips, with 'double T' sections, subjected to bending, to form horizontal and inclined floors, mezzanines and ceilings for the construction system. "Homes with Caribbean pine wood".

These components, as well as their later application, aim to the development and transference of knowledge and social appropriation for the construction of houses under the viewpoint marked in the agenda of sustainability of the construction established in the Institute of Experimental Development of Construction (IDEC), from the Central University of Venezuela (UCV).

Within this framework, the main objective of this stage of the study is to verify the pre-dimensioning of the structural analysis of the main and secondary structural components, such as main and secondary joists, basically intended to solve requests for vertical loads, according to the established In the Venezuelan regulations for housing use, and with criteria of sustainable and self-managed constructions.

Descriptors:

Bending tests, composed joists, Caribbean pine-OSB, self-managed houses, technological transference.

* Nuestro agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), por el financiamiento y apoyo para la realización de esta investigación experimental. Proyecto CDCH N° PG.02.5786.

CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES PARA FORJADOS DE MADERA SOMETIDOS A FLEXIÓN

Este trabajo está referido a la etapa experimental de una investigación en curso dirigida al diseño de un “Sistema constructivo de viviendas con madera de Pino Caribe y tableros OSB”, de dos niveles, como alternativa a la demanda de soluciones habitacionales de calidad, accesibles al sector de bajos ingresos venezolano.

En estas páginas se procede a caracterizar y analizar los resultados de los ensayos realizados

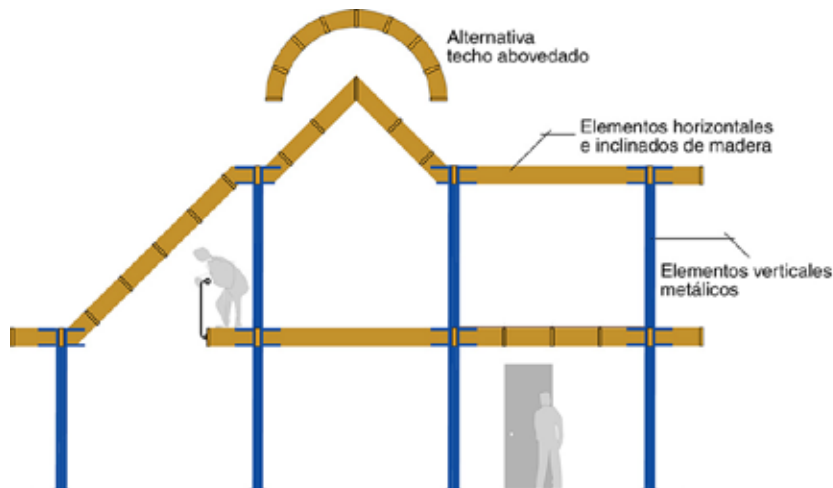
para los miembros estructurales de secciones compuestas con listones de tablas de madera de Pino Caribe y tableros de virutas orientadas OSB (sigla en inglés de *Oriented Strand Board*), correspondientes al envigado de las superficies horizontales e inclinadas, losas de pisos, entrepisos y techos, que responderán fundamentalmente a solicitudes de flexión en el futuro sistema constructivo (figuras 1 y 2).

Figura 1. Sistema constructivo para viviendas, criterio utilizado para la ubicación de miembros estructurales de madera



Fuente: A. Conti

Figura 2. Sistema constructivo para viviendas, criterio utilizado para la ubicación de miembros estructurales de madera



Fuente: A. Conti.

La selección de la madera aserrada del *Pinus Caribaea* variedad *Hondurensis*, además de tratarse de una fuente de recursos renovable, responde al cuantioso volumen de árboles sembrados en las plantaciones de Uverito y alrededores, al sur de los estados Monagas y Anzoátegui (Venezuela), bajo el programa creado en 1961 por la Corporación Venezolana de Guayana y el Ministerio de Agricultura y Cría de la época (MASISA, 2007), destinado a surtir la materia prima necesaria para la fabricación de pulpa para papel y taninos. El Pino Caribe es una especie genética manipulada y de crecimiento rápido alcanzando su máximo aprovechamiento entre los 15 y 25 años aproximadamente. En la actualidad se cuenta con más de 570 mil hectáreas sembradas de pinos con una densidad estimada de casi 1.500.000 m³, en 80% aptos para ser procesados (Reyes et al., 2012) por la compañía estatal Proforca (que para esta fecha opera con el nombre de Maderas del Orinoco, C.A.) a razón de más de 2 mil m³/mes, con miras a aumentar a mediano plazo el aserrío a 4 mil m³/mes (López et al., 2016) (fotos 1 y 2).

El aprovechamiento de este recurso renovable, si bien reviste desventajas como insumo para la construcción de miembros estructurales por la proliferación de nudos en los troncos y limitada capacidad resistente, permite por un

lado preservar especies de madera duras y semiduras de los bosques naturales y, por el otro, la madera de Pino Caribe es competitiva al cotizarse en el mercado, generalmente, a un precio inferior al de las demás maderas de bosques tanto nacionales como importadas.

En este artículo se presentan los resultados de la primera fase de la investigación mencionada que corresponden al análisis de los ensayos de laboratorio para la caracterización y evaluación de la resistencia a flexión de vigas de madera de secciones compuestas por almas con tablero OSB y cordones superiores e inferiores con secciones de tablas de madera de Pino Caribe (foto 3).

El artículo consta de tres secciones:

- Criterios de diseño, que parten de dos premisas generales establecidas para el diseño de los componentes vigas. La primera, asumir criterios de sostenibilidad, y la segunda, la transferencia, capacitación y apropiación social de conocimientos desde la academia hacia el sector productivo de la industria de la construcción venezolana, en nuestro caso, el de la viviendas autogestionadas.

- Caracterización de los materiales empleados y sus dimensiones.

- Ensayos realizados de resistencia a la flexión y análisis de los resultados obtenidos.

Fotos 1 y 2. Plantaciones de *Pinus Caribaea* variedad *Hondurensis*. Uverito, Venezuela



Fuente: Proforca.

CRITERIOS DE DISEÑO

Arquitectura y construcción sostenibles

Las vigas compuestas como las aquí propuestas son más eficientes que las de madera maciza al restringir el uso del material a las zonas donde se requiere. Es decir, la madera para el cordón superior e inferior y los tableros para el alma que los unen (Leiva, 2007).

En cuanto a la visión sustentable, además de ser la madera un recurso natural renovable, nos fundamentamos en los estudios adelantados desde hace varios años por el Arq. Alfredo Cilentto (1999, 2002, 2014, 2015) y el Arq. Domingo Acosta (1997, 2005), profesores del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción-IDEC en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela.

Concretamente, para una construcción sostenible, el diseño de las vigas responde a las siguientes premisas:

– Coordinación dimensional y modular: se asume el módulo de diseño de 120 x 120 cm –y sus múltiplos y submúltiplos–, en base a 30 cm, originando longitudes de vigas de 120 y 240 x h = 30 cm, respectivamente.

– Cero residuos y mínimos desperdicios: desde la dimensión real de los tableros de 4' x 8' (122 x 244 cm), se define la dimensión útil de

120 x 240 cm, previendo lo que necesitan los cortes de sierras, usualmente, entre 2 y 3 mm cada uno. De acuerdo al ancho útil, aserrados longitudinalmente los tableros de OSB dan lugar a dos alturas de almas, correspondientes a las dos alturas de secciones de vigas propuestas de 24 y 30 cm, satisfaciendo así dos solicitudes de cargas. Resumiendo, por cada tablero de OSB se podrán producir 5 almas de 24 x 240 cm, o 4 almas de 30 x 240 cm, lo que se traduce en el aprovechamiento del 96,75% de las dimensiones comerciales de los tableros OSB.

– Ahorro de energía: se garantiza gracias a la utilización de equipo no sofisticado y uso intensivo de herramientas manuales para la fabricación de las vigas.

– Reciclaje y reutilización: no sólo de los elementos (maderas y OSB) sino de las vigas en sí, ya que la fabricación y el montaje se realizan mediante clavos o tornillos.

– Construcción seca: concebida para permitir en lo construido la ejecución de remodelaciones, ampliaciones, reparaciones y/o sustituciones sin daños, roturas, desperdicios y residuos no utilizables (Conti, 2004).

– Deconstrucción en lugar de demolición: adoptando el criterio-concepto de 'junta seca' para el ensamblaje del conjunto de vigas (construcción por la vía seca).

Foto 3. Componentes viga principal y secundaria



Fuente: A. Conti.

– Producción local y a pequeña escala: autogestionada, intensiva en mano de obra no especializada, aprovechando al máximo las técnicas y los recursos locales de carpinterías pequeñas y medianas, con lo cual se genera empleo regional y se reducen los costos de transporte y energía.

Transferencia tecnológica

La segunda premisa, la transferencia, capacitación y apropiación social de conocimientos (fotos 4 y 5) se concreta por el hecho –ya mencionado– de poder fabricar los componentes constructivos en carpinterías pequeñas y medianas, con maquinarias y herramientas básicas, y procesamiento de la madera en dos operaciones mecánicas sencillas como son los cortes con sierras circulares y el cepillado (fotos 6 y 7).

También se ha previsto la fácil transmisión del *know how* al utilizar dos insumos básicos, como son secciones de tablas y tableros OSB, ambos disponibles en el mercado a precios muy inferiores a los de la madera de bosques naturales, y tableros de alta densidad-HD, como comúnmente se denominan por las iniciales de su nombre en inglés: *High Density*. Todo esto redonda en claras posibilidades de éxito para la fabricación de ambas vigas, las principales y las secundarias: “Se busca demostrar la factibilidad de manufacturarlas de manera artesanal por parte de comunidades organizadas que tengan la necesidad de viviendas” (Barrios et al., 2012).

De acuerdo con los cálculos estructurales las cargas arrojan dos secciones distintas, una para las vigas principales y otra para las secundarias.

Fotos 4 a 7. Taller de transferencia. Programa CYTED. Antigua, Guatemala



Fuente: A. Conti.

Para ambas secciones prevaleció el criterio de solucionarlas por adición de unos mismos elementos, es decir, secciones de tablas de Pino Caribe de $6 \times 2 \times L = 240 \text{ cm}$ para los cordones superiores e inferiores, unidos por almas de tableros de OSB de $30 \times 1,5 \times L = 240 \text{ cm}$. Es decir que todas las secciones se originan sumando –o restando– los mismos elementos, satisfaciendo así las distintas solicitudes de cargas, con el criterio según el cual a mayor solicitud más elementos, tal como se evidencia en las fotos 8 y 9.

Este criterio de producción a primera vista puede parecer engorroso al comparar secciones compuestas ‘tipo caja’ con un solo listón –pero con diferentes secciones– en cada cordón de las vigas. Sin embargo, la simulación-modelo del proceso de fabricación en la Planta Experimental del IDEC arrojó ahorros significativos en cuanto a tiempos de ejecución, pues prácticamente se eliminaron ‘tiempos muertos’ entre actividades debido a una significativa simplificación en las fases de aserrado, cepillado y clavado durante la fabricación, así como en cuanto a la gestión administrativa en los procesos de pedidos, despachos y depósito de únicamente dos materiales. Todo esto permite afirmar que lo asumido es competitivo en cuanto a costos con respecto a otras fabrica-

ciones tradicionales, donde se emplean diferentes insumos y secciones para cada solicitud de cargas.

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS Y DIMENSIONES DE VIGAS

Materiales utilizados para la elaboración de las vigas:

- Listones de madera de Pino Caribe de 6 cm de altura, 2 cm de espesor y 244 cm de longitud. Densidad: $0,48 \text{ gr/cm}^3$ (Reyes et al., 2012).
- Tablero OSB de 1,5 cm de espesor. Densidad comprendida entre 600 y 680 Kg/m^3 . Así que un tablero de $240 \times 120 \times 1,5 \text{ cm}$ pesa entre 26 y 29 kg de acuerdo a la Norma UNE-EN 300 que establece una variación de la densidad en el interior del tablero de $\pm 10\%$.
- Elementos para la unión entre las piezas que conforman cada viga. Son de dos tipos: clavos de acero N° 8 y tornillos auto-rosantes del tipo usados para la instalación de cerramientos de Dry Wall, cal. 20-25, ambos de $L = 3\frac{1}{4}''$ y $1\frac{3}{4}''$ para vigas principales y secundarias (fotos 10 y 11).

Fotos 8 y 9. Sección viga principal y secundaria

Sección doble T viga principal

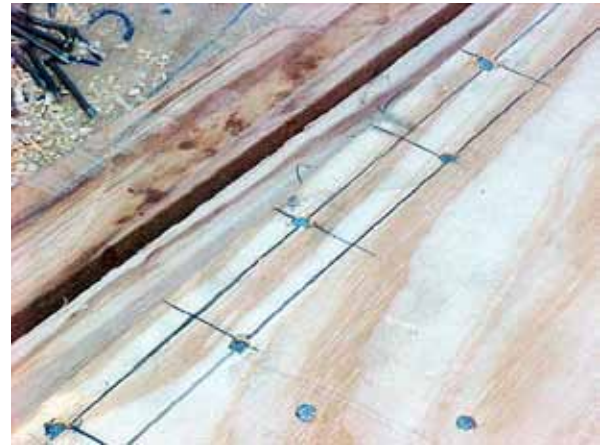


Sección doble T viga secundaria



Fuente: A. Conti.

Fotos 10 y 11. Clavos y tornillos

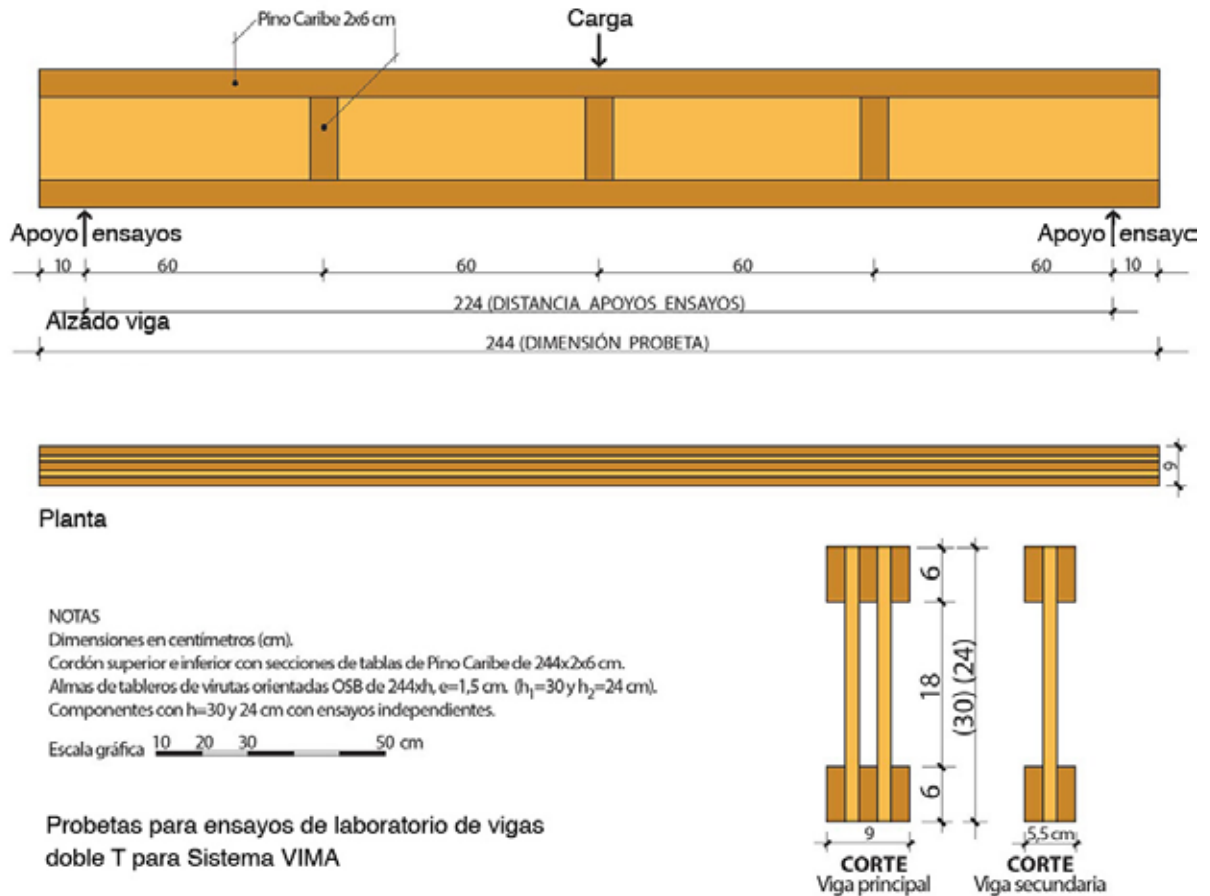


Fuente: A. Conti.

A los efectos de los ensayos las vigas fueron diseñadas con una longitud de 244 cm y de dos secciones, una con alma simple y otra de alma doble. La cantidad de elementos de unión –clavos y tornillos– y su distribución se

determina con base en las recomendaciones del “Manual de diseño para madera del Grupo Andino” (JUNAC, 1984). La ubicación y dimensionamientos de las vigas y sus componentes se indican en la figura 3.

Figura 3. Vigas principales y secundarias: planta, alzado y secciones



Las vigas de dos secciones diferentes (alma sencilla y alma doble), con dos tipos de uniones (con clavos o con tornillos) y de dos alturas (24 y 30 cm) para un total de veinticuatro (24) vigas, fueron producidas en la Planta Expe-

rimental del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Las características dimensionales de cada una para el plan de ensayos se especifican en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características dimensionales de las vigas ensayadas

Tipo	Probeta #	Nomenclatura	Longitud (m)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Peso (kg)	Alma	Unión	
1	1	1-1-C	2,44	240	55	11,2	sencilla	clavos	
	2	1-2-C	2,44	240	55	11,8			
	3	1-3-C	2,44	240	54	11,9			
2	1	2-1-T	2,44	240	55	12,3		sencilla	tornillos
	2	2-2-T	2,44	240	55	12,9			
	3	2-3-T	2,44	240	55	12,8			
3	1	3-1-C	2,44	240	87	20,8	doble		clavos
	2	3-2-C	2,44	240	88	21,2			
	3	3-3-C	2,44	240	88	21,2			
4	1	4-1-T	2,44	240	87	17,8		doble	tornillos
	2	4-2-T	2,44	240	90	22,8			
	3	4-3-T	2,44	240	90	22,0			
5	1	5-1-C	2,44	300	53	13,3	sencilla		clavos
	2	5-2-C	2,44	300	53	14,0			
	3	5-3-C	2,44	300	53	14,0			
6	1	6-1-T	2,44	300	55	14,3		sencilla	tornillos
	2	6-2-T	2,44	300	55	14,6			
	3	6-3-T	2,44	300	55	14,6			
7	1	7-1-C	2,44	300	90	23,4	doble		clavos
	2	7-2-C	2,44	300	87	23,4			
	3	7-3-C	2,44	300	87	23,0			
8	1	8-1-T	2,44	300	91	22,8		doble	tornillos
	2	8-2-T	2,44	300	92	22,7			
	3	8-3-T	2,44	300	91	22,5			

Fuente: original INVESTI, modificado por G. Maggi.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

De acuerdo con el plan de trabajo elaborado para la ejecución de los ensayos destinados a evaluar la resistencia a la flexión de las vigas se obtuvieron datos, medidas e información pertinente para cada uno de los componentes.

Los ensayos se realizaron en el Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas Industriales (INVESTI), utilizando una Máquina Universal con celda de carga Sensotec. Las deformaciones fueron medidas con traductores inductivos tipo LVDT, colocados uno en el centro de la luz para la deflexión vertical y otro lateral para determinar el pandeo lateral. La carga para todos los ensayos se aplicó a velocidad constante.

Las vigas fueron apoyadas libremente sobre elementos cilíndricos, lo que permitió su libre reacción mientras se produce la deformación. En las fotos 12 y 13 se muestran los componentes en la máquina de ensayos.

Los componentes fueron sometidos a flexión considerando tres condiciones de carga:

1. Carga puntual aplicada en el centro de la viga.

2. Dos cargas puntuales aplicadas a un tercio de la luz libre ($L/3$).

3. Dos cargas puntuales aplicadas a un tercio de la luz libre ($L/3$), con la viga confinada lateralmente para evitar las deformaciones en esa dirección.

En los ensayos de las vigas fueron consideradas tres variables: sección de la viga (sencilla o doble), altura (24 cm y 30 cm) y elementos de unión (clavos o tornillos). En función de estas variables fueron ensayados un total de veinticuatro (24) componentes: diez y seis (16) vigas sometidas a carga puntual en el centro de la viga y ocho (8) vigas sometidas a dos cargas puntuales aplicadas a $L/3$. Para cada una de ellas se realizaron las mediciones de carga máxima aplicada y deflexión en el punto medio de la viga, medición de carga de rotura y aplicación de carga sobrepasando la deformación de rotura. En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos (carga máxima y deflexión) así como el tipo de falla observada.

Fotos 12 y 13. Probeta colocada sin y con confinamiento

Probeta colocada sin confinamiento



Probeta colocada con confinamiento



Fuente: INVESTI.



Cuadro 2. Resumen de los resultados de ensayos de resistencia a la flexión

Nomenclatura	Altura (mm)	Alma	Condición de carga	Carga máxima (kg)	Deflexión (mm)	Rotura
1-1-C	240	sencilla	centrada	2.000,0	29,0	cordón inferior
1-2-C	240		centrada	1.650,0	23,2	cordón superior
1-3-C	240		a L/3	2.100,0	17,2	no rompe
2-1-T	240		centrada	1.450,0	19,4	cordón inferior
2-2-T	240		centrada	1.750,0	22,6	no rompe
2-3-T	240		a L/3	2.125,0	17,5	no rompe
3-1-C	240	doble	centrada	2.300,0	20,0	alma
3-2-C	240		confinada-centro	2.470,0	25,6	alma
3-3-C	240		a L/3	3.450,0	29,5	alma
4-1-T	240		centrada	2.870,0	25,8	cordón inferior
4-2-T	240		centrada	2.825,0	26,6	alma
4-3-T	240		confinada-a L/3	4.150,0	19,0	alma
5-1-C	300	sencilla	centrada	1.500,0	7,4	no rompe
5-2-C	300		centrada	1.500,0	10,4	no rompe
5-3-C	300		confinada-centro	1.980,0	22,9	alma (nudo)
6-1-T	300		centrada	1.6000	12,0	no rompe
6-2-T	300		a L/3	2.400,0	17,1	no rompe
6-3-T	300		confinada-centro	2.100,0	26,5	cordón superior
7-1-C	300	doble	centrada	3.450,0	21,2	alma
7-2-C	300		centrada	3.375,0	21,7	no rompe
7-3-C	300		confinada-a L/3	3.560,0	25,5	cordón inferior
8-1-T	300		centrada	3.450,0	20,8	alma
8-2-T	300		centrada	2.750,0	30,0	no rompe
8-3-T	300		confinada-a L/3	3.640,0	21,5	alma

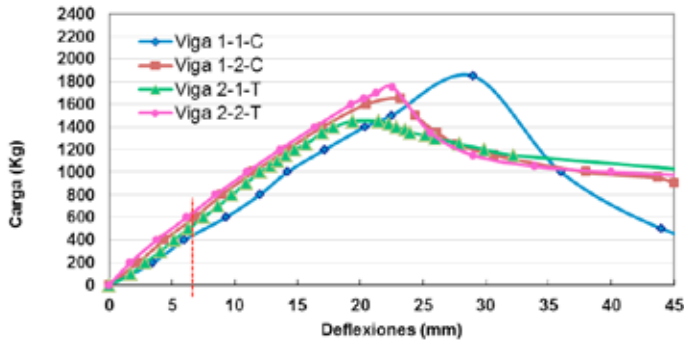
Fuente: original INVESTI, modificado por G. Maggi.

Análisis de resultados de los ensayos

Con los resultados de los ensayos de flexión de las vigas se elaboraron las curvas carga-deflexión para los cuatro grupos de componentes ensayados: vigas de sección simple con altura 24 cm, vigas de sección simple con altura

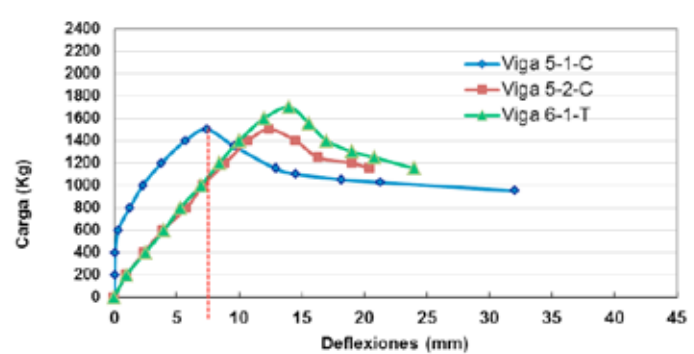
30 cm, vigas de sección doble con altura 24 cm y vigas de sección doble con altura 30 cm (gráficos 1, 2, 3, y 4). En los gráficos se observa el comportamiento de las diferentes vigas ensayadas, en los cuales se evidencia que el tipo de falla no es frágil.

Gráfico 1. Ensayos de flexión en vigas de almas sencillas, altura 24 cm



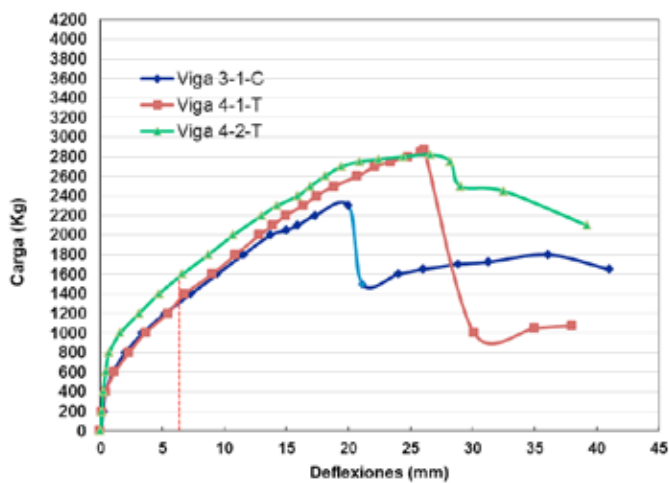
Fuente: original INVESTI, modificado por G. Maggi.

Gráfico 2. Ensayos de flexión en vigas de almas sencillas, altura 30 cm



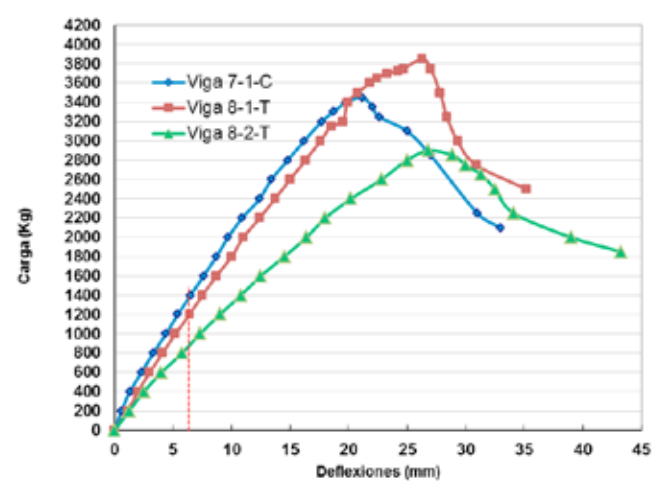
Fuente: original INVESTI, modificado por G. Maggi.

Gráfico 3. Ensayos de flexión en vigas de almas dobles, altura 24 cm



Fuente: original INVESTI, modificado por G. Maggi.

Gráfico 4. Ensayos de flexión en vigas de almas dobles, altura 30 cm



Fuente: original INVESTI, modificado por G. Maggi.

Las curvas carga-deformación obtenidas en los ensayos para todas las secciones de viga presentan un comportamiento lineal hasta los niveles cercanos a la carga de ruptura. En lo relacionado con el comportamiento de la mayoría de las vigas ensayadas se observa que la falla no es de tipo frágil, quedando la viga ensamblada por el tipo de unión tanto mediante clavos como con tornillos, regresando a su estado y conformación original superior al 90% al suspender y eliminar temporalmente la carga durante el ensayo, ante del colapso de las vigas (fotos 14 y 15).

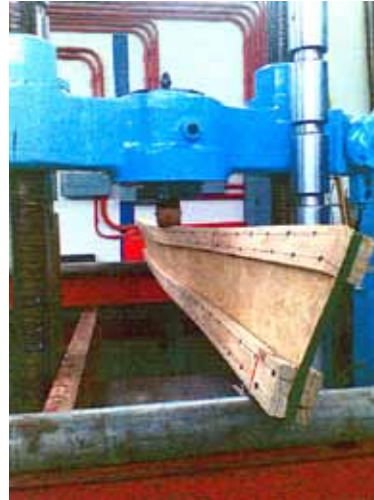
La carga máxima de ruptura presenta el comportamiento esperado ya que las vigas de

igual sección soportan una carga superior a las de mayor altura. Así mismo, tal como previsto, se observa que las vigas de alma doble soportan una carga superior a las vigas de alma simple (fotos 16 y 17).

Con relación al tipo y ubicación de la falla, en la mayoría de las vigas se obtuvo falla por tracción (en cordón inferior de la sección doble T) o compresión (en cordón superior de la sección doble T); no obstante, las vigas dobles de altura 24 cm (probetas 3 y 4) fallaron a corte del alma tipo frágil. Cabe destacar la falla en una de las probetas por la presencia de un nudo que abarcaba 40% de la sección de una de las maderas del cordón inferior (fotos 18 y 19).



Fotos 14 y 15. Deformaciones laterales durante aplicación de carga



Fuente: INVESTI.

Fotos 16 y 17. Fallas características



Fuente: INVESTI.

Fotos 18 y 19. Tipos de falla por carga

Falla por carga máxima



Falla por nudo en cordón inferior



Fuente: INVESTI.

CONCLUSIONES

Con relación a la 'sostenibilidad de las edificaciones':

- La madera y sus derivados son por excelencia insumos ideales para construcciones sostenibles por ser recursos renovables y con muy poca energía incorporada. Además, la fabricación de las probetas para los ensayos demostró mínimos desperdicios tal como estaba previsto para el diseño de las vigas. De hecho, para los cordones superiores se adquirieron tablas de 250 x 25 cm x e = 1" (2,54 cm) de donde se obtuvieron 4 elementos de 244 x 2 x 6 cm con un desperdicio de 6,3%. En cuanto a las almas de las vigas, de cada tablero de OSB se produjeron 4 elementos de 244 x 30 cm y 5 elementos de 244 x 24 cm, con un desperdicio promedio de 1,6%.
- También durante la fabricación hubo necesidad de desensamblar vigas para incorporar modificaciones y realizar ajustes de diseño, comprobándose lo valioso del criterio de junta seca para la deconstrucción, el reciclaje, modificaciones y ampliaciones preservando en su totalidad lo ejecutado.
- Igualmente, asumiendo el módulo de 60 cm, con sus múltiplos y submúltiplos para los componentes estudiados, se comprobó las ventajas de la aplicación de la coordinación modular para una construcción sostenible.

Con relación a la transferencia tecnológica y la producción autogestionada:

- Como fue descrito, los componentes se construyeron con maquinaria básica y herramientas manuales que corroboran las premisas de transferencia tecnológica y factibilidad productiva por carpinterías pequeñas, posiblemente gestionadas en unidades productivas comunales.
- Los componentes producidos presentaron las siguientes ventajas:
 - a) Mano de obra propia de carpinteros y ayudantes operando fundamentalmente sierra

circular, cepillo de espesor-canteadora y herramientas básicas como prensas, escuadras, etc.

b) Tipificación de elementos para todas las vigas.

c) El empleo de solamente dos insumos simplifica de manera significativa la gestión para pedidos, suministros, fabricación y almacenamiento ya que se reduce a tablas de Pino Caribe y tableros OSB.

Con relación al comportamiento de los componentes

- En el comportamiento de las vigas ensambladas con clavos y con tornillos no se observaron mayores diferencias, de allí que el tipo de unión y el procedimiento a utilizar se establecerá en función de los costos asociados a su fabricación y ensamblaje según el caso.
- Las vigas de alma sencilla tienden al pandeo lateral relativamente con mayor facilidad que las de alma doble. Es importante destacar que la gran flexibilidad de los materiales incide en la recuperación de dicho pandeo una vez que la viga se descarga, obteniéndose una recuperación superior a 90%.
- Los resultados que arrojan los ensayos de resistencia a la flexión son representativos del adecuado comportamiento de las vigas dada la similitud de las curvas obtenidas, no obstante la heterogeneidad de los materiales y la presencia de discontinuidades por los nudos de la madera que hacían suponer diferencias más importantes que las encontradas entre un componente y otro.
- El comportamiento de las diferentes vigas ensayadas cumple con las exigencias requeridas a la flexión, y para el diseño estructural del sistema constructivo se recomienda:
 - a) Utilización de vigas de alma dobles como componentes principales de carga y vigas de alma sencillas como componentes secundarios, acorde con las cargas de diseño.
 - b) Cualquier mejora en el proceso de diseño y fabricación de los componentes, así como la adecuada ejecución de las uniones, estarán a favor de su comportamiento dentro del sistema.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D.; Cilento, A. (1997). "Tecnologías de construcciones alternativas, apropiadas y apropiables". Entre Rayas, N° 22, Julio-Septiembre 1997, pp. 10-11. Caracas, Venezuela.
- Acosta, D.; Cilento, A. (2005). "Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo". Tecnología y Construcción, Vol. 21-1, pp. 15-30. IDEC-FAU/UCV. Caracas, Venezuela.
- Barrios, P. E.; Contreras Miranda, W.; Owen de C., M. E.; Sosa, M. (2012). "Ensayos mecánicos de vigas compuestas de madera tipo I: LS&E-1 para uso estructural". Revista Forestal Venezolana, año XLVI, Volumen 56 (1), enero-junio, 212, pp. 73-80. Mérida, Venezuela.
- Cilento, A. (1999). "Cambio de paradigma del Hábitat". Ediciones CDCH/IDEC/UCV. Colección Estudios. Caracas, Venezuela.
- Cilento, A. (2002). "Hogares sostenibles de desarrollo progresivo". Tecnología y Construcción, Vol. 18, N° 3, pp. 25-40. IDEC-FAU/UCV. Caracas, Venezuela.
- Cilento, A., (2014) "Una agenda para la arquitectura y construcción sostenible". Actualización 2014. Clase magistral, X Maestría en desarrollo tecnológico de la construcción del IDEC. Caracas, Venezuela.
- Cilento, A. (2015). "Construcción sostenible, piezas para la investigación y la acción". Ediciones IDEC-FAU/UCV. Caracas, Venezuela.
- Conti, A. (2004). "Cerramientos con madera de juntas secas para viviendas progresiva". Tecnología y Construcción, Vol. 20, N° 1, pp. 39-50. IDEC-FAU/UCV. Caracas, Venezuela.
- Hernández, M. (2016) "Venezuela: Sub-comisión de cambio climático atendió llamado de Caripe y bosque de Uverito". Entorno Inteligente del 27/4/2016. Extraído el 20 de junio 2016: www.entornointeligente.com/articulo/8314838/VENEZUELA-Subcomision-de-Cambio-Climatico-atendio-llamado-de-Caripe-y-Bosque-de-Uverito.
- Jerez, M.; Lawrence, M.; Moret A.; Quevedo, A. (2005). "Comparación entre modalidades de muestreo en plantaciones de Pino Caribe en el oriente de Venezuela". Revista Forestal Venezolana, Vol. 49, N° 1, pp. 17-25. Mérida, Venezuela.
- JUNAC-Junta del Acuerdo de Cartagena (1984) "Manual de diseño para maderas del Grupo Andino". Cap. 12: Uniones clavadas, pp. 2-11. Lima, Perú.
- Leiva, L. (2007). "Vigas compuestas de madera de sección Doble T y sección cajón para uso en vivienda". Tecnología y Construcción N° 23-III, pp. 47-56. Caracas, Venezuela.
- López, M.; Rattia, H. (2016). "Nuevos aserraderos permitirán explotar con tiempo las 572,9 mil hectáreas del bosque de Uverito". Correo del Orinoco, edición digital del 6/6/2016. Extraído el 20 de junio 2016: www.correodelorinoco.gob.ve/nacionales/nuevos-aserraderos-permitiran-explotartiempo-5729-mil-hectareas-bosque-uverito/.
- MASISA C.A. (2007). Foro: Feria Internacional de Tecnologías Limpias 2007. Octubre 31, 2007. En: <https://angelmagallanes.wordpress.com/2009/12/30/bosque-de-pinos-de-uverito-la-otra-venezuela/>, recabado el 20-10-2016.
- Norma UNE-EN 300 en: www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0038724#.WA56sdy8os recabado el 20-10-2016.
- Reyes, E.; Molina, M.; Valero, S.; Molina, Y.; Betancourt, J. (2012). "Propiedades físicas de la madera *Pinus Caribaea var. Hondurensis*". Revista Forestal Venezolana, Vol. 56, N° 1, enero-junio 2012, pp. 21-28. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.