

ARTÍCULO RES005



Artículo

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ESTRUCTURAL DE UNIONES APERNAJADAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA DE PINO CARIBE Y TECA

619

*Evaluation of the structural quality of bolted glulam joints made
of caribbean pine and teak*

ERIC BARRIOS PÉREZ¹,
WILVER CONTRERAS MIRANDA² y MILENA SOSA GRIFFIN³

- 1 Universidad Nacional Experimental de Guayana, Centro Biotecnológico de Guayana, Upata, estado Bolívar. E-mail: ericbarrios@hotmail.com
- 2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño. Mérida, Venezuela. E-mail: wilvercontrerasmiranda@yahoo.es
- 3 Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Caracas, Venezuela. E-mail: pimifaster@gmail.com

Recibido: 31/02/15. Aceptado: 23/09/15.

RESUMEN

La madera es uno de los materiales constructivos con mayores potencialidades afines a los principios del Desarrollo Sostenible. Aunque en Venezuela, existen dificultades para poder consolidar la cultura y tectónica con este material y sus productos forestales derivados, la investigación y desarrollo en ciencia y tecnología debe seguir procurando oportunidades para su dominio e innovación de productos y sistemas industriales para la construcción de estructuras y edificaciones, y que éstas, sean catálogos constructivos de referencia en el ámbito nacional. Por ello, el presente trabajo expone un aporte técnico fundamental, al evaluar según la Norma ASTM, la calidad estructural de las uniones apernadas manufacturadas de manera artesanal con barras lisas de acero fabricadas por SIDOR, ubicada en la ciudad de Puerto Ordaz, estado Bolívar. Y es que las dificultades políticas nacionales han afectado su economía y buen desarrollo de la industria de la construcción en general, ante el apremio de poder localizar materiales de construcción en el mercado, mayormente absorbidos por la Gran Misión Vivienda Venezuela. Los insumos de construcción importados, como lo son los pernos, son difíciles de adquirir por sus altos costos, limitaciones en los trámites para su importación, y en especial, para la adquisición de divisas, lo cual justifica y da importancia a esta investigación alternativa y única, ya que genera perspectivas para edificar estructuras de madera seguras, normalizadas, que son económicamente competitivas y apropiables por el pueblo.

PALABRAS CLAVE: Uniones apernadas, barras de acero, pernos, sistemas constructivos con madera, madera laminada encolada.

REVISTA ECODISEÑO Y SOSTENIBILIDAD
ISSN-1856-9552

Sede: Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Laboratorio de Ecodiseño y Sostenibilidad.
Galpón Principal en Tercer Piso. Avenida Principal hacia Chorro de Milla frente a Restaurant Chino. Conjunto Forestal. Mérida 5101, Venezuela.
Teléfonos LNPF: 0058-4121269540/CEFAP:(58 – 274) 2401920; Fax 2401090. E-mail: revencionysostenibilidad@gmail.com

SUMMARY

Wood is one of the construction materials with the greatest potential towards sustainable development. Although, in Venezuela there are difficulties in trying to consolidate culture and tectonics with this material and its derivatives, it is necessary to continue the research and development in science and technology. This would ensure knowledge acquisition and the creation of innovative products and industrial systems for the construction of buildings and infrastructure which could serve as reference models at national level. Thus, this paper describes the process of a fundamental technical contribution in the area. We propose the evaluation, according to the ASTM standard, of the structural quality of handcrafted bolted joints made of steel rods manufactured at the steel producer SIDOR (initials in Spanish corresponding to Siderúrgica del Oricono) located in the city of Puerto Ordaz, Bolívar State. Domestic political difficulties have impacted on Venezuela's economy and the overall development of the construction industry, which is also faced with the pressure to find construction materials that are mainly absorbed by the national social housing schemes (Gran Misión Vivienda Venezuela). The importance and reason for this unconventional and unique research is based on the difficult task of acquiring foreign construction materials, such as bolts, due to their high costs, import procedure restrictions, particularly the access to foreign currency. This has the possibility to generate safe wooden structural joints that would be standardized, economically competitive and accessible to all.

Key words: Bolted joints, steel rods, bolts, construction systems with wood, Glulam.

1. INTRODUCCIÓN

La actual coyuntura por la cual atraviesa Venezuela, en lo que respecta al déficit habitacional, tal como lo han expuesto Barrios, Contreras y Sosa (2011), en el cual se estima la cantidad de 2,7 millones de viviendas reportadas en los últimos años y con tendencia al aumento, tal como lo reportó Molina (2014) se requerirían construir 400 mil unidades habitacionales por año para poder suplirlo, siendo positivo los esfuerzos de la Gran Misión Vivienda Venezuela (GMVV) en la construcción de más 631.079 en ese año.

A pesar de estas cifras, el problema de la vivienda en Venezuela exige en su solución, el establecimiento de programas habitacionales desarrollados por el Estado venezolano y que involucre a la empresa privada, la generación de nuevas alternativas tecnológicas devenidas de procesos de ecoinnovación y la incorporación de materiales alternativos, como los productos forestales. Es un cambio de paradigmas que requiere articular los organismos del Estado, el sector forestal y los centros de investigación, garantía de un futuro cierto en los objetivos trazados.

Los últimos tiempos, producto de la crisis política y social, sin dejar de proyectarse incertidumbre en lo económico, ha permitido que la industria de la construcción e inmobiliaria, igualmente afectada, no haya podido cubrir con su taza de contribución. Por otra parte, existe

motivación y preocupación por parte del Gobierno Nacional para acometer emergencias en materia de viviendas y reubicación de damnificados cuando se suceden los períodos de riesgos naturales de lluvias (Chávez, 2010), lo cual aún para la presente fecha, no es suficiente para suplir tan grave situación que ha acentuado el crecimiento anárquico de barrios, cambios en el perfil urbano de las ciudades, sin dejar de mencionar los problemas colaterales sociales y de los niveles de calidad de vida de sus ciudadanos afectados por la inseguridad, infraestructuras deficitarias de vivienda, salud y educación, entre otros.

Todo este contexto de alta complejidad hace propicia la ocasión para el desarrollo de viviendas con madera y sus productos forestales derivados. Además, las políticas ambientales en procura del desarrollo sostenible mundial, exige que el diseño y la construcción de viviendas sociales respecto al uso del terreno, de materia primas naturales y el proceso de manufactura y demolición sean compatibles y respetuosos con el medio ambiente.

De igual forma, se resalta nuevamente que el país cuenta en la actualidad con un gran potencial de recursos forestales de bosques naturales y de plantaciones naturales, suficientemente consolidado, especialmente las plantaciones forestales de pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*), que según Contreras, Owen y Contreras (2003), permite proveer en el tiempo de materia prima económica y segura a las exigencias de la demanda inmobiliaria para poder llevar a cabo en el territorio nacional los proyectos residenciales requeridos. Como lo dijo Contreras, Owen, Rosso y Contreras (2000), es tener la visión de poder consolidar la cultura constructiva con madera en Venezuela en el marco del Desarrollo Sostenible.

Todo este desarrollo masivo de construcción de viviendas con sistemas estructurales de carpintería pesada con madera sólida y sus productos forestales derivados como la madera laminada encolada, involucra el uso de uniones con pernos o clavos para mantener juntos los elementos que conforman el sistema estructural de una edificación y que las cargas se transmitan con eficiencia hacia todos y cada uno de esos elementos.

Por lo que es necesario evaluar la resistencia de la unión formada con madera y sus productos derivados haciendo uso de los distintos elementos que la conforman, de allí se deriva la importancia de este trabajo, pues se hace uso de elementos de madera laminada encolada con calidad estructural para conformar distintos tipos de uniones. De ahí, que realizar la investigación se hace fundamental ya que abre perspectivas seguras en el mejor dominio de las uniones clavadas, pero en especial y debido a los altos costos de los pernos de acero estructural, se ha venido implementando una alternativa viable y de amplio uso en el país como lo es la elaboración de “pernos” a partir de barras lisas de acero con la elaboración de doble rosca y tuercas según los diámetros solicitados y recomendados por el cálculo estructural en una

determinada edificación. Ha sido una tecnología empleada de manera empírica que requiere de su comprobación, especialmente en el sector de la construcción de edificaciones con madera.

Por consiguiente, los ensayos permitirán desarrollar los criterios de diseño necesarios para conformar una unión estructura adecuada que permita la estabilidad estructural de todo el conjunto. Por lo que el uso, tanto de la madera sólida, como de sus productos forestales derivados, en plena interacción con los materiales tradicionales, entre otros aspectos, contribuirá y ayudará a consolidar el ansiado desarrollo sostenible del país, promocionando este noble material como el más amigable para con el ambiente, respecto al ahorro energético y captura de carbono, demanda de trabajadores y comunidades con sus beneficios socioeconómicos, y la incorporación de mano de obra debidamente capacitada para tan importante compromiso histórico nacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es la continuidad de la línea de investigación de diseño y construcción de madera laminada con calidad estructural de la Sección de Ecodiseño del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, quien bajo la coordinación del Dr. Wilver Contreras Miranda ya había desarrollado la evaluación y determinación de los esfuerzos de diseño de las maderas laminadas manufacturadas por la Industria Kondor CA (Contreras *et al.*, 2007), empresa que ya no funciona en la actualidad producto de la situación país ya mencionada en el apartado anterior y se encontraba localizada en la Zona Industrial de Matanzas de la ciudad de Puerto Ordaz del Estado Bolívar y mudada posteriormente a la Zona Industrial de Macapaima en el Estado Anzoátegui.

Realizado el trabajo anterior, se procedió a los aprovechamientos de las piezas extremos y libres de defectos de cada una de las vigas ensayadas. De cada una de ellas se prepararon las probetas a escala real, previo diseño de distribución de pernos según los requerimientos contemplados por la JUNAC (1984) y la norma ASTM D-1761.

2.1. SITIO DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Los ensayos mecánicos fueron realizados en la Sección de Ensayos de Propiedades Físicas y Mecánicas del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), ubicado en la ciudad de Mérida, Estado Mérida, Venezuela.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para la realización de estos ensayos se utilizó la madera pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*) proveniente de las plantaciones de Uverito en el Edo. Monagas y la madera de teca (*Tectona grandis*) proveniente de las plantaciones de la Reserva Forestal de Ticoporo del Estado Barinas. Estas maderas fueron encoladas con el adhesivo Metil-di-isocianato (MDI), identificado comercialmente bajo el nombre de Jowaton y fabricado por la industria alemana Jowa, para formar elementos laminados a escala real.

Como se expuso en el punto de la introducción, es de recalcar que la elaboración de los elementos laminados fue realizada por la Industria Kondor C.A., por lo que los investigadores de este trabajo no tuvieron participación, ni manipularon las variables del proceso de fabricación inicial de estos elementos. De ahí que se haya partido de la premisa que cualquier persona puede ir a esa empresa a adquirirlos. Se adquirieron veintisiete (27) vigas, de las cuales dieciocho (18) fueron de pino caribe y nueve (9) fueron de teca; presentando las siguientes características: alto de 28 cm, largo de 350 cm, y anchos que variaban de 6,5 cm, 9,7 cm y 12,6 cm, aproximadamente. Estos elementos, a pesar de que sus elementos pasaron por un proceso de secado, fueron acondicionados a un contenido de humedad aproximado de 12%.

Para la elaboración de las uniones se utilizó clavos; tuercas, arandelas y barras lisas de acero dulce de distintos diámetros ($F_y=2.102 \text{ Kg/cm}^2$), las barras se seccionaron a las dimensiones apropiadas y se les hizo roscas en sus extremos con una tarraja. Es de recalcar que estos materiales se consiguen en cualquier ferretería comercial especializada en la venta de materiales de construcción.

2.3. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS

El objetivo principal de estos ensayos fue recabar la información necesaria para determinar si una estructura de madera laminada, haciendo uso del pino caribe y de la teca, soportarían las

exigentes condiciones a que estaría sometida a la hora de formar la estructura de una edificación. Debido a ello, se recurrió al ensayo de distintos elementos que conformarían dicha estructura, hasta donde esto fuera posible, a escala real para determinar los esfuerzos de diseño.

En este caso se planteó el ensayo de elementos laminados de distintas medidas, simulando el encuentro entre una columna y una viga, es decir que la dirección de la carga es paralela al elemento vertical (columna), pero perpendicular al elemento horizontal (vigas). Para la realización de los ensayos mecánicos de las uniones se utilizó como guía la norma ASTM D1761-12 (2010) y el Manual de Diseño del Grupo Andino de la JUNAC (1984), para proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales.

Los elementos laminados fueron seccionados a las dimensiones apropiadas para realizar principalmente dos tipos de uniones, unas que trabajaran a simple cizallamiento y otras que trabajaran a doble cizallamiento. Para la elaboración de las uniones se hizo uso tanto de clavos como de barras lisas de acero (éstos en sustitución de los pernos para poder ahorrar costos) y que esta tecnología pueda ser más accesible a cualquier persona. Es terminar de reafirmar la apropiabilidad tecnológica del uso de barras en la construcción con madera en Venezuela, pero de forma segura a partir del uso de los esfuerzos de diseño determinados en la presente investigación. De esta manera motiva el desarrollo local dentro del contexto del Desarrollo Sostenible, permitiendo entre otras, la conformación de pequeñas y medianas industrias en el ámbito nacional para la manufactura de este tipo de uniones según los estándares recomendados.

Para estos ensayos se realizaron uniones de madera laminada encolada a escala real utilizando cuatro barras lisas de acero de $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " de diámetro y de longitudes variables de acuerdo al espesor de los elementos, teniendo especial cuidado en que el hoyo u orificio realizado para introducir la barra dentro de la madera no superara los 0,8 mm ($\frac{1}{32}$ ") del diámetro de las barras de $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ " y 1,6 mm ($\frac{1}{16}$ ") para las barras de $\frac{3}{4}$ ". Y para las uniones clavadas se utilizó cinco clavos de 12 cm y 15 cm de largo, teniendo especial cuidado de hacer un pre-taladrado de manera que el orificio fuera de 0,8 veces el diámetro del clavo usado. Se realizaron ocho (8) uniones a doble cizallamiento y ocho (8) uniones a simple cizallamiento de pino caribe (todas usando pernos); y cinco (5) uniones a simple cizallamiento de teca (todas usando clavos), tal como se muestra en las figuras 1 y 2 (a y b) y en los cuadros 1 y 2. Se controló que la ubicación de los pernos y clavos no estuvieran ubicados sobre o adyacente a defectos naturales de la madera y que cumpliera con lo establecido por el Manual de Diseño (JUNAC, 1984). La máquina utilizada para los ensayos es de marca RIEHLE con capacidad de 60 toneladas. Al momento del ensayo se midió la deformación con un deflectómetro y la carga aplicada hasta obtener una

deformación máxima, que según recomendaciones de la norma ASTM D-1761, debería ser de 15 mm.



a



b

FIGURA 1. Algunas de las probetas de madera laminada de pino caribe para el ensayo de uniones, haciendo uso de barra lisa roscada de $\frac{1}{2}$ ", cizallamiento doble (a) y cizallamiento simple (b). Fuente: Foto propia.



a



b

FIGURA 2. Algunas de las probetas de madera laminada de pino caribe al momento del ensayo de uniones, haciendo uso de barra lisa roscada de $\frac{3}{8}$ ", cizallamiento doble (a) y cizallamiento simple (b). Fuente: Foto propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. VALORACIÓN TÉCNICA DE LAS UNIONES

En los cuadros 1 y 2, se pueden apreciar las características de las uniones y los resultados obtenidos en los ensayos, la cual es la carga máxima resistida por cada una de las uniones luego de haber sufrido un desplazamiento entre cada una de las piezas de 15 mm, exceptuando las uniones clavadas (E25T – E29T), pues éstas fallaron primero antes de llegar a esa deformación máxima, para lo cual se anotó la deformación máxima al momento de ocurrir la falla.

En cada cuadro 1 y 2, se puede apreciar la nomenclatura que identifica a la probeta y la especie de la madera usada, las que terminan en “P” se refieren a que la madera utilizada fue de pino caribe y las terminadas en “T” se refiere a que la madera utilizada fue de teca. El largo se refiere a la distancia en que se seccionó cada trozo de madera laminada de su pieza original, todas fueron de 50 cm. El ancho se refiere a la altura original que tenía el elemento laminado antes de ser seccionado, todas son de 28 cm.

CUADRO 1. Resistencia a compresión de las uniones empernadas a escala real de madera laminada encolada de pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*) y teca (*Tectona grandis*) a doble cizallamiento, siendo P= Pino caribe; T= Teca. Fuente: elaboración propia.

Doble cizallamiento						
Especie de madera	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro de la barra (pulg)	Desplazamiento (mm)	Carga máxima a compresión paralela (Kg)
E1P	500	280	65	3/8	15	3000
E3P			97			3900
E6P			126			4800
E4P			97	1/2		4500
E7P			126			5700
E2P			65			14000
E5P			97	3/4		15500
E8P			127			18000

El espesor se refiere al ancho individual que tenía el elemento laminado antes de ser seccionado, este es de 65 mm, 97 mm y de 126 mm, por lo que si una unión está formada por tres elementos (doble cizallamiento) el ancho total de la unión es tres veces este valor y esto indicara aproximadamente el largo de la barra de acero, es decir que para conformar las uniones se utilizaron tres piezas del mismo espesor. El diámetro de la barra se refiere precisamente al diámetro usado para conformar esa unión. El desplazamiento se refiere a lo indicado por la norma, el cual no debe exceder de los 15 mm. Y la carga máxima a compresión paralela indica el valor máximo alcanzado al momento de fallar la unión o de haber conseguido el desplazamiento máximo de 15 mm.

CUADRO 2. Resistencia a compresión de las uniones empernadas y clavadas a escala real de madera laminada encolada de pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*) y teca (*Tectona grandis*) a simple cizallamiento, siendo P= pino caribe; T= Teca. Fuente: elaboración propia.

Simple cizallamiento						
Especie de madera	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro de la barra (pulg)	Desplazamiento (mm)	Carga máxima a compresión paralela (Kg)
E21P	500	280	97	3/8	15	7500
E22P			126			7800
E20P			65			9600
E23P			97	1/2		10500
E24P			126			8400
E31P			65	3/4		10200
E29P			97			15500
E30P			126			13500
E25T			65		8,9	1500
E29T			65		8,74	1850
E27T			97		6	2250
E28T			97		4,6	2250
E26T			97		6.1	2000

Es importante recalcar que ningunas de las uniones falló por la ruptura de la madera, todas las fallas se debieron al desplazamiento de las uniones y a la deformación de la barra de acero. En el caso de las clavadas, la falla se debió al desprendimiento o separación de la unión (Figura 3; Cuadro 2). El desplazamiento en éstas no alcanzo lo requerido por la norma (15 mm), obteniéndose valores bajos respecto a las uniones empernadas.

Al evaluar ambos cuadros, se percibe que existe una relación proporcional de mayores valores de resistencia y obtención de carga a la comprensión en la medida en que se aumentan los diámetros de los pernos: $\frac{3}{4}" > \frac{1}{2}" > \frac{3}{8}"$.

La figura 4 permite apreciar el comportamiento del proceso de aplicación de deformación-deformación de algunas de las probetas al momento del ensayo a simple cizallamiento, como es el caso de la probeta E20P empernada de pino caribe (a), y probeta la E28T clavada de teca (b).



628

FIGURA 3. Probetas de madera laminada de teca clavadas luego del ensayo, donde se puede apreciar la falla en la unión. Fuente: Foto propia.

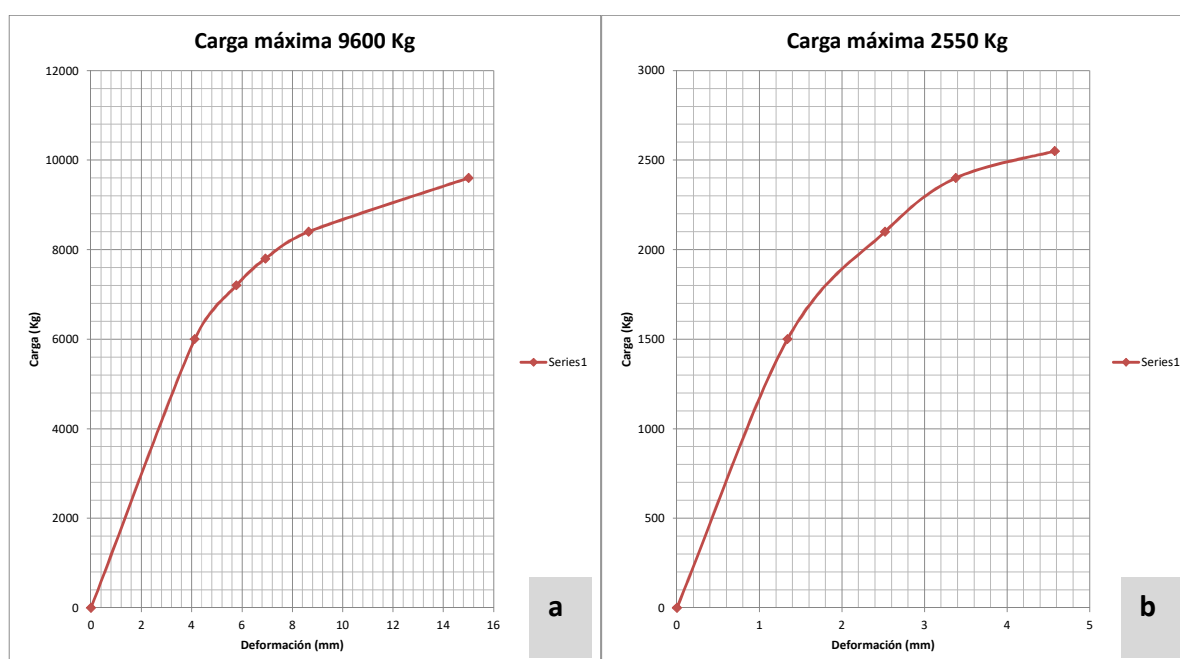


FIGURA 4. Diagrama esfuerzo-deformación: probeta (E20P) empernada a simple cizallamiento de pino caribe (a) y probeta (E28T) clavada a simple cizallamiento de teca (b). Fuente: Elaboración propia.

La relación de la obtención de la carga máxima entre la primera llega a triplicar (9600 Kg) a la segunda (2550 Kg), denotándose la resistencia en fortaleza y absorción de cargas de las barras de acero, lo cual viene a determinar la seguridad y confiabilidad de obtener mayores valores de esfuerzos entre lo empernado en referencia a los clavos, permitiendo así a los arquitectos e ingenieros, la conformación de un sistema estructural de calidad a partir de madera sólida o madera laminada cuyas uniones son con pernos, tanto a simple y doble cizallamiento. Es decir, edificaciones con mayores solicitudes estructurales por diseño y en altura.

Ahora depende del diseñador o del calculista los valores definitivos a usar, pues a estos valores no se les incluye ninguna reducción de seguridad, el diseñador debe incluirle los factores de reducción para obtener la carga de diseño, es decir, debe incluir los factores por duración de carga, variación del contenido de humedad, de tipo de carga, por uso, por temperatura, entre otros.

Para ello el profesional de la ingeniería estructural, deberá utilizar las normas que más convenga, pudiendo emplear las normas americanas como las proporcionadas por la American Wood Council (National Design Specification® (NDS®) for Wood Construction), las europeas como el Eurocódigo 5 o incluso las dadas por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino del JUNAC (1984), entre otros, todo depende de la metodología que utilice el diseñador o calculista.

3.1. VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA MANUFACTURA DE UNIONES CON BARRAS ARTESANALES DE ACERO

Barrios, Contreras y Owen (2006), Renovables Verdes (2011) citando a la Organización de las Naciones Unidas, el Programa 21: Capítulo 11 de la ONU (2012), Ecosiglos (2013), FAO (2015) o Cloquell, Contreras y Owen (2007), entre muchos actores, exponen de manera resumida las claras ventajas de promocionar y construir con madera y sus productos derivados, definiéndolos como los materiales sostenibles del siglo XXI siempre y cuando el manejo de los bosques naturales en menor cuantía y plantaciones forestales sean de manera sostenible en tiempos de consolidación del Desarrollo Sostenible en todas las actividades antrópicas de la sociedad presente y futura. Son materiales más competitivos en el menor consumo de energía por tonelada en su formación y empleo en referencia a los materiales tradicionalmente empleados por la industria de la construcción, bien sean, minerales, cerámicos, siderúrgicos, vitrificados o plásticos; y en materia de promoción de plantaciones forestales y uso de productos forestales, contribuyen a absorber el dióxido y monóxido de carbono de las actividades industriales, constructivas y de movilidad, entre otros, mediante procesos de fotosíntesis para transformarlos y fijar el carbón de su estructura bioquímica, lo cual contribuye a disminuir los

impactos del efecto invernadero y el cambio climático, además de la restauración y embellecimiento de ecosistemas y paisajes degradados por procesos naturales y de actividades antrópicas.

De ahí que la presente investigación viene a generar dentro de un mundo globalizado, industrializado y con altas tasa de demografía casi incontrolada, donde impera lo automatizado, racional, prefabricado y mecanizado, con tendencia a una deshumanización de las formas de vida moderna urbana y con dificultades de encontrarse en armonía y respeto con la naturaleza, en medio de territorios con grandes contrastes de pobreza en referencia a la riqueza entre naciones e individuos, exige una mirada hacia lo local, más en países en vías de desarrollo industrial como Venezuela que no escapa a esa realidad de contrastes.

Es apostar por la construcción masiva de edificaciones con madera, especialmente para contribuir a solventar el déficit habitacional, y una vez superado, consolidar la cultura constructiva de madera en el siglo XXI, a semejanza de los países como Estados Unidos, Canadá, Finlandia o Suecia, donde estos materiales son referencia de solución positiva al ser parte integral de sistema constructivo en el 99% de las viviendas.

Por ello, si se construyen edificaciones con sistema estructural de poste/columna-viga o cerchas en madera sólida o madera laminada, las uniones haciendo uso de barras de acero vienen a ser una alternativa factible, segura y económica para la generación de múltiples pequeñas y medianas empresas para la manufactura de los componentes estructurales generando puestos de trabajo, beneficios a los trabajadores y comunidades adyacentes a éstas, así como la contribución al PIB nacional; entre otras. Es una mirada esperanzadora para mejorar la calidad de vida de miles de familias que requieren de viviendas dignas, seguras, funcionales y hermosas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización del presente trabajo tiene dos vertientes: Primero, el confirmar la calidad y seguridad estructural de las uniones, especialmente de las empernadas con barras lisas de acero ($F_y=2.102 \text{ Kg/cm}^2$), las cuales son más económicas y ya han sido apropiadas por quienes han tenido experiencias constructivas con la madera y sus productos forestales.

Reforzando el contexto anterior, se han obtenido por vez primera en Venezuela, un valor aproximado de la resistencia de las uniones que podían ofrecer los elementos de madera

laminada de pino caribe y de teca ante la aplicación de carga, haciendo uso de las normas americanas ASTM D1761-12 (2010), valores inexistentes en la bibliografía venezolana y poder así determinar la mejor configuración a la hora de desarrollar cualquier modelo de edificaciones en madera y poder hacer la transferencia tecnológica a las comunidades, pues son ellos los que con sus manos van a construir sus viviendas, sirviendo de guía para que con herramientas e insumos sencillos que se consiguen en cualquier ferretería y/o carpintería, poder hacer las modificaciones o reparaciones a las mismas.

Segundo, con los ensayos realizados en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, se logra certificar la investigación y viniendo a llenar un vacío hasta ahora existente, pues ha sido uno de los pocos realizados de este tipo y que se hayan reportado en Venezuela. De esta manera se logra conseguir que los profesionales de la ingeniería estructural tengan una base para poder utilizarla a la hora de construir con madera sólida o madera laminada encolada. Se está claro que todavía falta mucho por hacer en este campo, pero estos son los primeros pasos que nos llevarán a conseguirlo, lo que viene a ser motivación a que nuevas investigaciones en esta área se desarrollen en el país.

Los ensayos llegaron a superar todas las expectativas, pues ninguna de las piezas a doble cizallamiento falló por ruptura, la falla fue por aplastamiento y desplazamiento de la unión, mientras que las de simple cizallamiento igual. La diferencia principal fue que las uniones clavadas si fallaron, pues las piezas se separaron antes de conseguir el desplazamiento máximo requerido, razón por la cual no se recomienda su uso en características similares desarrolladas en el presente trabajo.

Finalmente, pesar de usar barras roscadas (barra lisa a la cual se le realizó rosca en ambos extremos para colocarle las tuercas) que se considera menos resistente que los pernos y más económicos, se comportó excelentemente, tal como se puede apreciar en los resultados obtenidos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar formal agradecimiento a la valiosa ayuda del Profesor Will Styles Valero y el técnico TSU Rolando Betancourt de la Sección de Ensayos de Propiedades Físicas y Mecánicas del Laboratorio Nacional de Productos Forestales por su entrega institucional en procura de consolidar la cultura constructiva con madera en Venezuela.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D1761-12. 2010. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood. En línea: <https://www.astm.org/Standards/D1761.htm> [Consultado: 01/09/2014].

BARRIOS, E. J., W. CONTRERAS MIRANDA y M. E. OWEN DE CONTRERAS. 2006. Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 40: 1-28.

BARRIOS, E.J., W. CONTRERAS MIRANDA y M. SOSA. 2011. Metodología de Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) para la producción de estructuras laminadas en madera de pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*). Aplicación: Diseño de un sistema estructural para edificios de vivienda multifamiliar. Tesis de Doctorado del Programa Doctoral en Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismos, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 366 p.

CHÁVEZ, H. 2010. *Aló Presidente* N° 364. En línea: <http://todochavez.gob.ve/todochavez/4211-alo-presidente-n-364>. [Consultado: 26/02/2011].

CLOQUELL BALLESTER, V., W. CONTRERAS MIRANDA y M. OWEN DE CONTRERAS. 2007. *La madera y los productos forestales en sistemas estructurales. Aspectos técnicos y medioambientales*. Editorial Fundación Politécnica Antiguos Alumnos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 183 p.

CONTRERAS MIRANDA W., M. E. OWEN DE CONTRERAS y YOSTON CONTRERAS MIRANDA. 2003. *Sistema Constructivo con Madera – Uverito*. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico CDCHT – ULA. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 120 p.

CONTRERAS MIRANDA W., M. E. OWEN DE CONTRERAS, FRANZ ROSSO y YOSTON CONTRERAS M. 2000. El desarrollo de la tecnología de la madera laminada y sus perspectivas de uso en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 15(26): 17-39.

CONTRERAS MIRANDA W., W. E. VALERO, E. THOMSON, M. E. OWEN DE CONTRERAS y E. BARRIOS. 2007. Determinación de los esfuerzos de diseño de vigas laminadas de pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*), encoladas con adhesivo de isocianato (MDI). *Revista Maderas. Ciencia y Tecnología* 9 (3): 32-58.

ECOSIGLOS. 2013. Ventajas y desventajas de construir con madera en edificios. En línea: <http://www.ecosiglos.com/2013/06/ventajas-desventajas-medioambientales-de-la-madera-en-edificios.html> [Consultado: 26/02/2015].

FAO. 2015. Las plantaciones forestales y el Desarrollo Sostenible. En línea: www.fao.org [Consultado: 24/02/2015].

JUNAC. 1984. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. 4 Edición. Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). Lima, Perú. 246 p.

MOLINA, R. 2014. GMVV ha construido 631.079 “hogares de paz”. En línea: <http://minci.gob.ve/2014/10/ministro-molina-gmvv-ha-construido-631-079-hogares-de-paz/> [Consultado: 22/02/2015].

ONU. 2012. Programa 21: Capítulo 11. Lucha contra la deforestación. En línea: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter11.htm> [Consultado: 22/02/2015].

RENOVABLES VERDES. 2011. Crece el uso de la madera para producir energía. En línea: <http://www.renovablesverdes.com/crece-el-uso-de-la-madera-para-producir-energia-segun-la-onu/> [Consultado: 23/02/2015].