

ESTUDIO MECÁNICO DE PANELES ESTRUCTURALES EN MADERA DE PINO CARIBE VENEZOLANO

EMPLEADOS EN UN SISTEMA
CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA
CON ENTRAMADO LIGERO

*Mechanical study of wood structural panels
made of Caribbean Venezuelan pine wood
used in a light frame construction system*

POR

Jhonattan **TREJO¹**

Argelys **MÁRQUEZ¹**

Pablo **NININ JEANDRAIN¹**

Wilver **CONTRERAS MIRANDA²**

Will **STYLES VALERO¹**

Héctor **KIFER¹**

¹ Universidad de Los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales.
Grupo de Investigación y Desarrollo de la Vivienda con Madera y el Mueble
(GIDEVIM). Mérida, Venezuela.

tjhonattan@ula.ve

² Universidad de Los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales.
Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño. Mérida, Venezuela.

wilvercontrerasmiranda@yahoo.es

pp. 40–62

RECIBIDO 28/04/2016
ACEPTADO 13/10/2016
ISSN 1856-9552

Se estudió el comportamiento a compresión y la ruptura de paneles estructurales elaborados en madera de Pino caribe venezolano para un sistema constructivo de entramado ligero. Se realizaron comparaciones sobre el comportamiento a la compresión, evaluando la deformación producto de la carga aplicada sobre paneles sin recubrimientos y paneles recubiertos por ambas caras con malla riplex y friso de cemento. Los paneles recubiertos, resultaron ser más resistentes que los paneles sin recubrimientos. La deformación, resultó diferente para ambos casos. En los paneles sin recubrimientos predominó la deformación en el plano lateral del panel, mientras que en los paneles con recubrimiento predominó la deformación perpendicular al plano del panel. El análisis estadístico permitió afirmar que para cargas compresivas comprendidas entre los 500 kg y los 1.500 kg no se evidenciaron diferencias significativas entre los dos tipos de paneles estudiados. Para cargas comprendidas entre 2.000 kg y los 3.500 kg se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre los paneles. Para cargas superiores a los 4.000 kg, se evidenciaron diferencias altamente significativas entre los tipos de paneles. La ruptura o falla en los paneles sin recubrimiento, se presentó en un 87% aproximado sobre los elementos estructurales (pies derechos o parales). De los parales que fallaron, el 69% aproximadamente falló en las adyacencias a las uniones clavadas (parales con las traviesas), tanto por consecuencia de la presencia de madera juvenil como por acción directa de la unión clavada.

PALABRAS CLAVE

Sistema constructivo, entramado ligero, sismo resistente, viviendas prefabricadas con madera.

KEY WORDS

Construction system, light frame, earthquake resistant, pre-fabricated wooden houses.

SUMMARY

We studied the compression and breakage behavior of structural panels made of Caribbean Venezuelan pine wood used in a light frame construction system. We compared compression behavior by evaluating the deformations observed as a result of the application of load to the panels which were both, covered and left uncovered on both side with mesh riplex and frieze. The covered panels proved to be more resistant than the panels without covering. Deformations were different in both cases. In the panels without a covering the deformations of the plane of the panel were predominantly lateral, while in the panels with a covering there were mainly perpendicular deformations of the plane of the panel. The statistical analysis confirmed that with compression loads between 500 kg and 1.500 kg there are no significant differences between the two types of panels studied. For loads between 2.000 kg and 3.500 kg there were statistical significant differences between the panels. For maximum loads of 4.000 kg there were highly significant differences between the types of panels. The breakage in the panels without cover appeared in approximately 87% of the structural elements (right feet or studs). Of the studs that failed, approximately 69% failed at the adjacencies of nailed joints (studs with sleepers), due to the presence of juvenile wood and the direct effect of the nailed joint.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción con madera y sus productos forestales derivados representan en la actualidad ser los materiales de construcción sostenible con clara visión de futuro en el siglo XXI. Conscientes se está de los grandes esfuerzos que hacen las naciones del mundo a través de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para consolidar los preceptos del Desarrollo Sostenible, ya que los daños antrópicos sobre los recursos naturales alcanzan dimensiones de dramatismo en referencia a los altos impactos negativos por la obtención de materias primas, ampliación de la frontera agrícola, desarrollo urbanístico, procesos y elaboración de infinidad de productos industriales, que son requeridos por una sociedad contemporánea altamente consumista y cada día en ascenso en las tasas demográficas.

La necesidad de edificaciones institucionales para la dotación de servicios básicos para la población en general, y en especial, la dotación de viviendas destinadas a familias de menores recursos económicos, son imperativos, además de estar contempladas en la carta de las Naciones Unidas, y en el caso particular de Venezuela, en su actual Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela (AN, 2000). Ha sido reconocer que el país tiene un compromiso social con los más desposeídos, además de que ha venido arrastrando de periodos gubernamentales anteriores, un déficit habitacional cada día en ascenso estimado por Orta (2014) en 2 millones 750 mil unidades habitacionales y que debido a la dinámica social que supera los índices de crecimiento demográfico y políticas que no han logrado aminorar esta situación, en el año 2016 se estima en los 3,7 millones de viviendas deficitarias. Es razón por la cual la Gran Misión Vivienda Venezuela haya construido en 17 años más de un millón de unidades habitacionales en todo el ámbito nacional.

De la anterior cifra construida por el Estado venezolano, prevalecen los sistemas constructivos tradicionales a base de concreto armado, acero y cerramientos de mampostería de bloques de cemento y arcilla, y de manera insignificante, el uso de sistemas constructivos con madera y sus productos forestales. De ahí que Cloquell *et al.* (2010) hayan expuesto que se perdió una valiosa oportunidad cuando a mediados de la primera década del siglo XXI, la extinta CVG Proforca, ahora Maderas Orinoco C.A., elaboró toda una gama de proyectos de viviendas con madera de pino caribe (*Pinus caribaea Mor. var. Hondurensis Barr.*), para contribuir con 50.000 unidades habitacionales en el año 2007, y no se llegó a concretar producto de la falta de gerencia y compromiso histórico de quienes dirigían esa empresa en su entonces.

De ahí, que el presente trabajo “*Estudio mecánico de paneles estructurales en madera de pino caribe venezolano empleados en un sistema constructivo de plataforma con entramado ligero*”, sea eslabón histórico del buen proceder de investigación desarrollado en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, y que teóricamente ya había sido propuesto por Contreras *et al.* (2003), demostrándose su viabilidad en la presente oportunidad, hecho positivo por su clara factibilidad de manufactura e implementación en un plan masivo nacional de construcción de viviendas sociales, en el contexto de la apropiabilidad tecnológica interrelacionada a los procesos industriales de prefabricación e industrialización de viviendas con madera y diseños arquitectónicos bioclimáticos.

1.1.

LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN VENEZUELA

Conscientes que el Instituto Nacional de Estadística de Venezuela (INE, 2014), exponía que el déficit habitacional para el año 2009 superaba el millón ochocientos mil viviendas (1.800.000), y que producto de la dinámica social se registraba para el año 2014, las 2.750.000 unidades, exige en definitiva, como lo plantea Contreras *et al.* (2003), una verdadera política de Estado cuando se indique y tenga claro el norte de la cultura constructiva de la Venezuela contemporánea, a fin de poder cubrir este déficit que para el año 2020 sería necesario construir 180.000 viviendas por año durante el decenio 2011 - 2020. Es oportunidad para incorporar la tecnología de la madera en esa política y plan nacional habitacional, ya que es el material sostenible del siglo XXI.

De igual manera, el INE (2014), establece que la población de Venezuela para el año 2011 fue de veintiocho millones ochocientos treinta mil habitantes (28.830.000 hab.), con una tasa proyectada de crecimiento de la población para el período 2010-2015 de 1,47% interanual. Esto implica un incremento de 440.000 habitantes adicionales por año, lo que a su vez genera una demanda adicional de 80.000 viviendas por año como consecuencia únicamente por el crecimiento vegetativo de la población nacional.

En consecuencia, para cubrir el déficit habitacional actual en un período de 10 años (2010 - 2020), y simultáneamente, cubrir la demanda por concepto del crecimiento de la población, es necesario construir 260.000 viviendas nuevas por cada año hasta el 2020.

La Cámara Venezolana de la Construcción, afirmó en febrero del 2015 que el sector de la construcción está pasando por el peor momento, ya que el sector privado en el 2014 solo pudo construir 10.000 viviendas, lo cual se le atribuyó a la falta de materia prima e insumos básicos para elaborar estructuras, lo que en términos de déficit se traduce que para el 2015 la falta de viviendas ascendió a tres millones de unidades. Por ello, el déficit habitacional en Venezuela se ha convertido en uno de los principales problemas para la población, esto se ve reflejado en el año 2011, cuando según el INE (2014), 7,5 millones de venezolanos se encuentran en condiciones de requerimiento de vivienda.

Esta situación tiene un origen del tipo multifactorial, sin embargo, entre los más resaltantes se tiene que la disponibilidad de materiales de construcción convencionales como el acero y el cemento no logran cubrir la demanda interna, lo cual trae como consecuencia el déficit de productos empleados en la construcción, incrementos de sus costos unitarios e improvisaciones de sistemas constructivos sin detalles de ingeniería.

Esto evidencia la necesidad de fomentar sistemas de construcción de viviendas a través de métodos alternativos a los actualmente empleados, con materiales de construcción sostenible, renovable y biodegradable, que promueva la industrialización y la prefabricación de componentes de viviendas. En ese sentido Venezuela es aún un país con grandes recursos forestales, entre los que las plantaciones de pino caribe al sur de los estados Anzoátegui y Monagas, permiten que sea la madera de obra que el país necesitaba en la consolidación de un plan nacional de viviendas sociales construidas con madera y productos forestales.

1.2.

LAS VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON MADERA

La prefabricación de viviendas con madera ha demostrado ser uno de los sistemas constructivos más eficientemente empleados en diversos países del mundo para masificar la construcción, como el caso de Canadá, Estados Unidos, Alemania, Suecia, Dinamarca, Finlandia, Noruega, Rusia, Austria, Bélgica, Japón, Brasil o Chile (Estrada, 2012), solo por nombrar algunas naciones, menos en Venezuela.

La madera es un material orgánico y biodegradable, que proviene mayormente de una fuente renovable como las plantaciones forestales. Es mucho más amigable con el ambiente que otros materiales de construcción tradicionalmente empleados; con un menor requerimiento energético para su obtención y procesamiento; un menor impacto ambiental en su ciclo de vida desde su extracción en las plantaciones hasta su integración a una edificación, que los irreversibles daños ocasionados en la obtención y procesamiento de los materiales de construcción como el cemento, el acero, el aluminio, que provienen de fuentes no renovables como la minería a cielo abierto.

Es importante resaltar que Venezuela cuenta cerca de 500.000 hectáreas de plantaciones de pino caribe (*Pinus caribaea* Mor. var. *Hondurensis* Barr.) en el noreste del país, de las cuales aproximadamente 350.000 hectáreas corresponden a plantaciones con 10 o más años de edad, es decir, árboles maduros y próximos a su aprovechamiento. En todos los países donde es tradicional la construcción de viviendas con madera, existe generalmente una especie que presenta las características propias de lo que se denomina una “madera de obra”. La madera de obra, debe presentar como primera condición la garantía de suministro en el tiempo, bajos precios en el mercado, fácil de secar, fácil de preservar, y finalmente, con un parque industrial capaz de suplir la demanda de madera bajo estándares de calidad y dimensiones, para nuestro caso, esto se aproxima a la madera de pino caribe de la Orinoquia.

1.3.

LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MADERA

La forma geométrica de los elementos longitudinales de la estructura de un edificio, determinarán tres aspectos básicos (Trigueros, 2011): las formas en que las cargas se reparten a través de los mismos hasta los apoyos, los momentos de resistencia generados en los materiales estructurales, cómo reaccionan a las cargas y la eficiencia de su comportamiento en cuanto a la economía de los materiales utilizados.

Dentro de los principales métodos estructurales de construcción con madera de mayor auge en la tecnología constructiva, se tiene entre los más importantes (Junac, 1985; Cloquell *et al.*, 2010):

- Muros macizos (Troncos y madera rolliza).
- Entramado de columnas y vigas (*Post and beam framing*: 1620-1830).
- Entramado pesado plataforma/armazón de globo (*Balloon framing*: 1830-1930).
- Entramado ligero plataforma (*Platform framing*: 1930 - Presente).

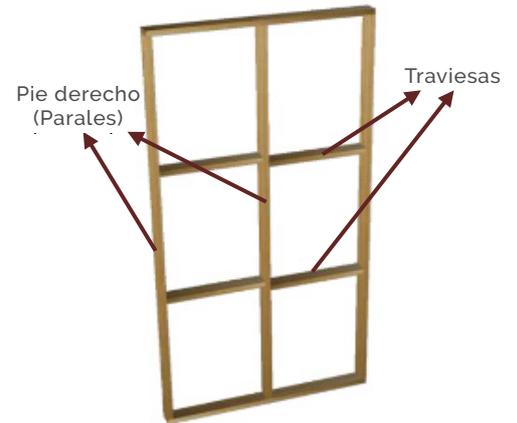
1.3.1. EL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA CON ENTAMADO LIGERO DE MADERA

Es el sistema más difundido, el 75% de los edificios construidos en Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Suecia y Noruega son de entramado de madera. Permite altos grados de prefabricación industrializada y rapidez de montaje (Trigueros, 2011).

Este sistema constructivo está constituido por unidades básicas denominadas paneles o sistema de prefabricación parcial (FIG. 1 y 2), los cuales están caracterizados según su función, siendo precisamente ello lo que determina su distribución interna, longitud y cantidad de piezas que la configuran.

FIG. 1 y 2

Vivienda en construcción en sistema entramado de plataforma elaborada con madera pino caribe y paneles OSB. Tipificación de elementos de un panel.
FUENTE: JONATHAN TREJO.



1.3.2. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA CON ENTAMADO LIGERO DE MADERA

El árbol vivo está conformado por un conjunto de células que cumplen funciones vitales de resistencia, conducción de savia y de almacenamiento de sustancias de reserva. Estas células están orientadas paralelamente al eje del árbol, unidas entre sí por una sustancia intercelular denominada laminilla media y trabadas, por otras células de naturaleza similar a las anteriores pero en número mucho menor y perpendiculares en sentido radial del tronco, formando los radios leñosos (Trigueros, 2011).

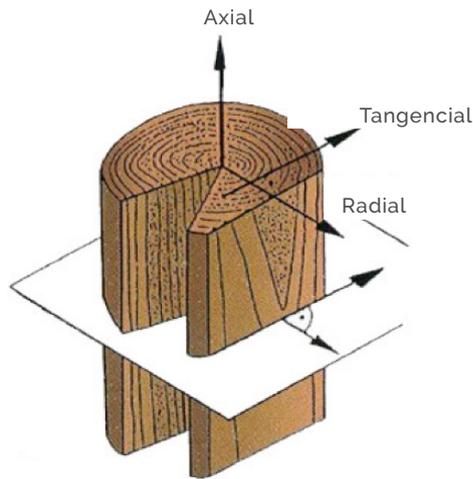
Esta estructura celular hace de la madera un material resistente y ligero a la vez, gracias a su especial constitución, conformada por dos principales compuestos celulares, la celulosa y la lignina. La primera es higroscópica, en parte cristalina y muy resistente a la tracción, mientras la segunda es prácticamente insoluble en agua, amorfa y muy resistente a la compresión.

La madera de mayor utilidad a nivel mundial para la fabricación de casas de entramado ligero son normalmente los pinos. Estos son árboles robustos y su madera tiene una estructura bastante uniforme, más del 90% de las células son traqueídeas y carecen de vasos. Las condiciones y tasa de crecimiento del árbol determinarán la calidad de su madera.

De ahí que la madera sea un material ortotrópico, puesto que las propiedades varían en las direcciones de los planos x, y, z, es decir, que presenta diferente módulo de elasticidad y capacidad de carga a lo largo de la fibra, tangencialmente a los anillos de

crecimiento y perpendicularmente a los anillos de crecimiento (FIG. 3). Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son superiores que en las otras dos direcciones.

FIG. 3
Direcciones principales
de la madera.
FUENTE: (TRIGUEROS, 2011).



El valor relativamente bajo de la densidad de la madera, comparada con su resistencia y módulo de elasticidad, la convierte en un material especialmente adecuado para aplicaciones estructurales. Por ello, las soluciones constructivas en madera resultan más ligeras que las de acero y mucho más ligeras que las de hormigón. La relación resistencia/peso propio es 1,3 veces superior al acero y 10 veces superior al hormigón (Bosch, 2011).

Según Pérez (1983), citado por Paguay (2013), bajo pequeñas cargas, la madera se deforma de acuerdo con la Ley de Hooke, es decir, que las deformaciones son proporcionales a las tensiones. Cuando se sobrepasa el límite de proporcionalidad, la madera se comporta como un cuerpo plástico y se produce una deformación permanente. Al seguir aumentando la carga, se produce la ruptura.

Este módulo de elasticidad dependerá del tipo de madera o especie, del contenido de humedad (CH%), del tipo y naturaleza de las acciones, de la dirección de aplicación de las cargas y de la duración de las mismas (Bosch, 2011).

Por su parte Reyes *et al.* (1995), reporta para la madera de pino caribe proveniente de plantaciones con 21 años de edad en condición de Contenido de Humedad seca al aire (12% CH) tiene una densidad promedio de $0,600 \text{ g/cm}^3$. De igual forma, Vilela (1973) citado por los autores antes mencionados, en un estudio tecnológico del pino caribe (*Pinus caribaea var. Hondurensis*) de 15 años de edad procedente de Surinam, reporta valores de resistencia a la compresión paralela al grano de: Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP) = 297 kg/cm^2 ; Resistencia Máxima (RM) = 415 kg/cm^2 ; y Módulo de Elasticidad (MOE) = 76.000 kg/cm^2 equivalente a 7,45 Gigapascal (GPa).

De igual forma Reyes, *et al.* (1995), en determinaciones de las propiedades físicas y mecánicas de pino caribe (*Pinus caribaea var. Hondurensis*) de 15 años de edad, proveniente de las plantaciones de Uverito (Venezuela), reporta valores de resistencia a la compresión paralela al grano de: ELP = 130 kg/cm^2 , RM = 317 kg/cm^2 ; MOE = 25.178 kg/cm^2 equivalente a 2,47 GPa, que comparativamente con la madera de la misma especie y edad proveniente de Surinam, se observa una importante disminución en los valores de resistencia a la

compresión paralela al grano de la madera de pino caribe proveniente de las plantaciones de Uverito.

En este sentido, Reyes *et al.* (1995), también presenta en un estudio sobre las propiedades mecánicas del pino Caribe de 21 años de edad de las mismas plantaciones de Uverito, valores de resistencia a la compresión paralela al grano de: ELP = 210 kg/cm², RM = 310 kg/cm²; MOE = 33.496 kg/cm² equivalente a 3,28 GPa, relativamente un poco mejores a los de 15 años, pero considerablemente más bajos a los valores reportados por Vilela (1973) citado por Reyes *et al.* (1995), de la madera de pino caribe proveniente de plantaciones de Surinam.

Es importante destacar que para los reportes presentados por Reyes *et al.* (1995), en los ensayos experimentales de la resistencia a la compresión se emplearon probetas de 2,5 cm de ancho x 2,5 cm de espesor x 10 cm de longitud. En esta investigación se realizaron ensayos a escala real con madera de pino caribe proveniente de las mismas plantaciones de Uverito (Venezuela) para buscar mayor aproximación a la condición real de servicio.

Debido a que se suelen utilizar mayoritariamente secciones rectangulares con dimensiones estandarizadas en 2 pulgadas de espesor (2 in) x 4 in de ancho (5 cm espesor x 10 cm ancho), y a que la madera presenta un MOE bajo (aproximadamente entre 10 y 20 veces menor que el acero), la flexión en vigas aparece como factor limitante del cálculo (Trigueros, 2011).

Los elementos estructurales que conforman el sistema de prefabricación parcial del sistema constructivo descrito, están dispuestos de forma tal que reciben la carga en compresión en sentido paralela a las fibras (mayores valores de resistencia). A su vez cada panel esta ensamblado de forma tal, que la suma de paneles de un muro realizan un esfuerzo conjunto distribuido entre la totalidad lineal de dicha estructura y sin la necesidad de utilizar unidades de apoyos como columnas, por lo tanto, el sistema actúa como un sistema conformado por muros auto portantes.

En esta investigación, se pretendió estudiar el comportamiento de los paneles estructurales antes descrito bajo condiciones de carga estáticas en compresión similares a las ejercidas por el peso del techo sobre los muros (en dirección paralela a las fibras). De igual forma, se procuró observar el comportamiento de paneles conformados bajo diferentes condiciones de paneles sin recubrimientos y paneles con recubrimientos con malla riplex y friso mortero – arena cemento, bajo cargas cíclicas de compresión y observar el comportamiento de los paneles.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez obtenida la madera de pino caribe proveniente de las plantaciones de Uverito, Estado Monagas Venezuela, presentada en formato de tablones, la presente investigación se realizó fundamentalmente en las instalaciones de la Sección de Aserrado y Sección de Ensayos del laboratorio Nacional de Productos Forestales, adscrito a la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

2.1. MATERIA PRIMA EMPLEADA

La materia prima utilizada fue el Pino caribe (*Pinus caribaea var. Hondurensis*) seco en horno con un contenido de humedad del 12% ($\pm 2\%$), de 21 años de edad y proveniente de las plantaciones forestales del noreste del país (Uverito) manejadas por la empresa estatal Maderas del Orinoco C.A., antiguamente CVG PROFORCA, con dimensión inicial estandarizada en 366 cm longitud x 10 cm ancho x 5 cm espesor.

2.2. UNIDAD DE ESTUDIO

La unidad de estudio fueron paneles básicos para muros con dimensiones generales de 1,22 m x 2,44 m en ancho y alto respectivamente, el cual es el panel más empleado en las estructuras, del cual se ensayaron a compresión 5 paneles básicos sin algún tipo de recubrimiento, solo el marco estructural, tal como se aprecia en la FIG. 2. De igual manera se ensayaron a compresión 5 paneles básicos con recubrimientos con malla riplex y friso de concreto - arena, teniendo como finalidad el poder comparar los resultados entre estos paneles y los realizados sin recubrimientos.

Las uniones de sus piezas fueron clavadas (2 clavo de 3 pulgadas calibre 10 a tope y paralelo al grano de la madera), como se aprecia en la FIG. 4, y se usó como referencia las recomendaciones de JUNAC (1985). La fijación de la malla riplex de metal expandido de 1,2 kg/m², fue fijada al entramado (FIG. 5) con clavos de 37 mm cada 10 cm en el perímetro y cada 20 cm en la zona central del panel, realizándose posteriormente un revestido con mortero cemento - arena (1:3) de 15 mm de espesor (FIG. 6).

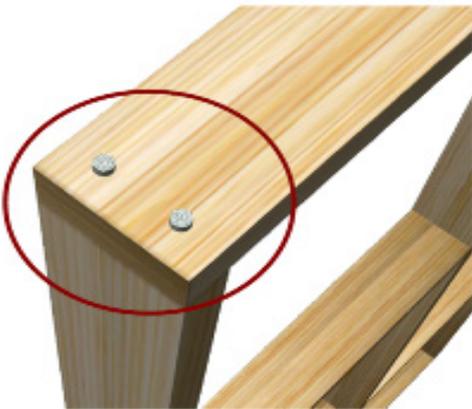


FIG. 4
Detalle de unión clavada.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

FIG. 5
Fijación de la malla riplex al panel básico.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.





FIG. 6

Aplicación del friso cemento-arena sobre la malla riplex del panel básico.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

2.3. EQUIPO UTILIZADO PARA MEDIR LAS DEFORMACIONES EN LOS PANELES

Se empleó un marco de tubo de 1 in x 1 in (2,5 cm x 2,5 cm), sobre el cual se dispuso un conjunto de tres reglas graduadas, dispuestas de manera horizontal y con el siguiente orden (FIG. 7):

- **Regla 1:** Mide la deformación en el plano del panel y en el primer tercio superior del panel ensayado.
- **Regla 2:** Mide la deformación en el segundo tercio, es decir en el centro del panel.
- **Regla 3:** Mide la deformación en el plano del panel y en el tercer tercio inferior del panel ensayado.

En el caso de las deformaciones perpendiculares al plano del panel, se recurrió al nivel de albañil o plomada (FIG. 8).

El equipo utilizado para los ensayos de compresión fue una prensa universal, marca Rehilercon capacidad para 60 ton de la Sección de Ensayos Físicos y Mecánicos del Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, empleando adicionalmente un accesorio para aplicar cargas de compresión sobre paneles a escala real (panel de 1,22 m x 2,44 m) (FIG. 9).

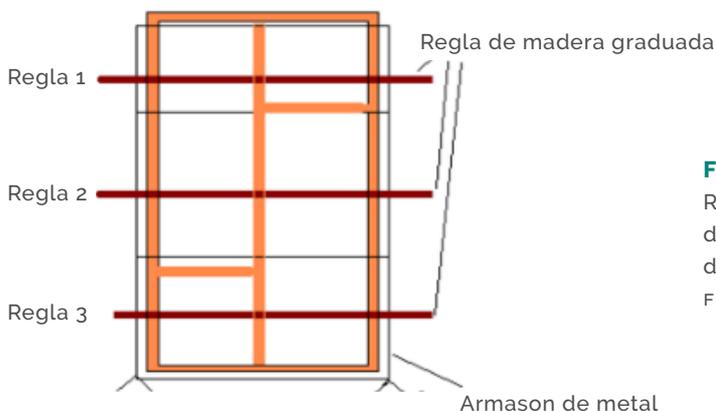


FIG. 7

Reglas para medición de deformaciones en el plano de los paneles.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

FIG. 8
Instrumento para medición de deformaciones perpendiculares al plano de los paneles.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

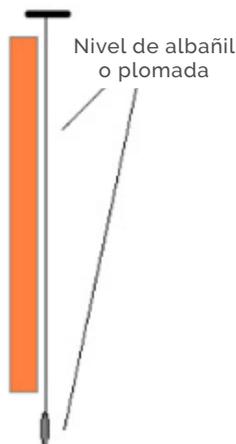


FIG. 9
Ensayo de un panel con recubrimiento de malla riplex y friso mortero.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



2.4. DISEÑO DE EXPERIMENTO Y MÉTODO ESTADÍSTICO

El diseño de experimento estuvo conformado por dos tratamientos (paneles con recubrimientos con malla riplex y friso mortero versus paneles sin recubrimiento), un solo factor de tipo cuantitativo (carga aplicada) y múltiples niveles del factor (valores de la carga aplicada).

El método experimental consistió en someter los paneles a cargas de compresión, incrementándolas gradualmente en ciclos de cargas y descargas (desde 500 kg de carga hasta los 6.000 kg de carga con intervalos de incrementos de 500 kg de carga), para así cuantificar los valores de compresión de cada panel y las deformaciones transitorias o elásticas producidas y las deformaciones permanentes o plásticas productos de estas cargas a compresión. La duración de estas cargas fue de 5 minutos para luego iniciar la descarga y nuevamente comenzar con el siguiente ciclo de carga.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN VERSUS CARGA APLICADA A PANELES SIN RECUBRIMIENTOS

En la **TABLA 1** se observa lo correspondiente a la deformación por compresión de los paneles sin recubrimiento versus la carga aplicada, evidenciando de manera general, que a medida que la carga aplicada se incrementa, los promedios de compresión del panel aumentan.

Para las cargas comprendidas entre los 500 kg y 1000 kg, ocurren las mayores diferencias entre los valores máximos y mínimos, siendo esto expresado por los mayores valores de coeficiente de variación de las observaciones realizadas en las muestras de los paneles sin recubrimiento. Esta observación, permite evidenciar de manera preliminar, que durante la aplicación de las primeras cargas de compresión, ocurren asentamientos

TABLA 1

Deformación por compresión (en el plano del panel), versus carga aplicada a los paneles sin recubrimientos. Fuente: Elaboración propia.

Carga kg	n	Deformación por Compresión (0,01mm)			Coeficiente Variación
		Máximos	Mínimos	Promedios	
500	5	1.450,00	335,00	805,00	5,62
1.000	5	3.090,00	665,00	1.482,00	6,35
1.500	5	1.645,00	1.030,00	1.450,00	1,91
2.000	5	2.210,00	1.420,00	1.840,00	1,60
2.500	5	2.195,00	1.730,00	2.003,00	0,98
3.000	5	2.560,00	2.020,00	2.288,00	1,01
3.500	5	2.820,00	2.570,00	2.673,00	0,39
4.000	5	3.120,00	2.580,00	2.890,00	0,82
4.500	5	3.420,00	3.155,00	3.354,20	0,34
5.000	5	4.560,00	3.370,00	3.801,80	1,18
5.500	5	4.599,80	3.980,00	4.129,68	0,64
6.000	5	4.906,00	3.275,00	4.122,20	1,43

de su estructura con una elevada variabilidad de comportamiento entre paneles, asignando como posible causa de ésta, la calidad de ensamblaje de las uniones y las características de los elementos estructurales que lo conforman.

Para las cargas comprendidas entre los 1500 kg y 4500 kg, se destaca que la magnitud de las diferencias entre las deformaciones máximas y mínimas se va haciendo cada vez menor en la medida que se incrementa la compresión, siendo esto igualmente expresado por reducciones progresivas del coeficiente de variación en la medida que se incrementa la carga de compresión.

Esta tendencia permite confirmar de manera indirecta el efecto de asentamiento del panel cuando se le aplican las cargas desde 500 kg hasta los 1.000 kg, puesto que para cargas de compresiones superiores y comprendidas entre los 1.500 kg y 4.500 kg, el comportamiento de los paneles se hace más estable y menos variable.

Un comportamiento de mayor variabilidad que el observado en la aplicación de las cargas anteriores, es la respuesta de los paneles a la carga de compresión desde los 5.000 kg hasta los 6.000 kg, donde es evidencia el acercamiento a la fase crítica, cercana a la carga de ruptura (ruptura entre los 6.200 kg y 7.600 kg), donde participan con mayor significancia las singularidades propias de cada pieza de madera que conforma el panel, vale decir, grano inclinado, nudos, porcentaje de leño juvenil, la magnitud y ubicación de los defectos de secado, incluyéndose además aspectos relacionados con la calidad de ensamblaje/uniones internas en los paneles.

3.2. DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN VERSUS CARGA APLICADA A PANELES CON RECUBRIMIENTOS CON MALLA RIPLEX Y FRISO MORTERO

En la **TABLA 2**, se observan los valores que corresponden a la compresión de los paneles con recubrimientos con malla riplex y friso mortero (**FIGURA 9**), observando a manera general una tendencia de variación similar (en comportamiento) a los paneles sin recubrimiento. Por lo tanto, se puede inferir que a medida que la carga aplicada se incrementa, los promedios de compresión del panel con recubrimiento se ven incrementados.

Para las cargas comprendidas entre los 500 kg y los 1.000 kg, los valores de las medidas de dispersión de la estadística descriptiva para paneles con recubrimiento permiten afirmar, que existe una tendencia de variación similar que los paneles sin recubrimiento, es decir, en esta fase del ensayo ocurren los mayores rangos entre las deformaciones máximas y mínimas, siendo esto expresado por los mayores valores de coeficiente de variación. La evidencia de la mayor variabilidad de los valores de compresión entre paneles con recubrimiento y entre paneles sin recubrimiento para cargas comprendidas entre los 500 kg y 1.000 kg, permite inferir con mayor énfasis que la aplicación de las primeras cargas generan asentamientos de la estructura en estudio, generando una elevada variabilidad causada por diferencias en la calidad de ensamblaje de las uniones y elementos estructurales que lo conforman, y para el caso de paneles con recubrimiento la participación del comportamiento variable que genera la malla riplex y el cemento o mortero.

TABLA 2

Deformación por compresión (perpendicular al plano del panel) versus carga aplicada a los paneles con recubrimientos (malla riplex y friso mortero). Fuente: Elaboración propia.

Carga kg	n	Deformación por Compresión (0,01mm)			Coeficiente Variación
		Máximos	Mínimos	Promedios	
500	5	650,00	6,00	332,20	7,42
1.000	5	1.160,00	195,00	665,00	5,65
1.500	5	1.440,00	685,00	983,00	3,34
2.000	5	1.460,00	935,00	1.159,00	1,80
2.500	5	1.870,00	1.135,00	1.521,00	1,90
3.000	5	1.814,00	1.470,00	1.814,00	1,80
3.500	5	2.460,00	1.170,00	1.938,00	2,60
4.000	5	2.630,00	1.985,00	2.299,00	1,24
4.500	5	3.020,00	2.240,00	2.591,00	1,30
5.000	5	3.210,00	2.490,00	2.810,00	1,19
5.500	5	3.420,00	2.765,00	3.017,00	0,94
6.000	5	3.750,00	2.965,00	3.285,00	0,98

En el rango comprendido entre los 1.500 kg hasta los 6.000 kg, las diferencias de comportamiento entre paneles con recubrimiento, van reduciéndose en la medida que se incrementan los valores de carga compresión, siendo esto evidente por reducciones progresivas de los coeficientes de variación y reducciones de los rangos entre los valores máximos y mínimos.

3.3. COMPARACIÓN ENTRE LAS DEFORMACIONES PROMEDIOS POR COMPRESIÓN ENTRE PANELES SIN RECUBRIMIENTOS Y CON RECUBRIMIENTOS

En la **FIG. 10**, se observan los valores promedios de compresión para los paneles con recubrimiento y sin recubrimiento, en donde se destaca, como tendencia general que los incrementos de los valores promedios de compresión aumentan en la medida que se incrementa la carga aplicada. De igual manera se destaca, que para el caso de los paneles con recubrimientos la deformación por compresión fue consistentemente inferiores que los correspondientes a los paneles sin recubrimiento, desde los 500 kg hasta los 6.000 kg. Esta tendencia de variación, permite corroborar la mayor resistencia a la compresión que le confiere la malla riplex y el friso mortero cemento - arena, a los paneles estructurales conformados con pino caribe.

Otro aspecto a considerar, es el incremento de las diferencias de las deformaciones promedio por compresión en la medida que se incrementa la carga aplicada, entre los paneles sin recubrimiento y los paneles con recubrimiento. Esta tendencia de variación permite afirmar que la aptitud de uso de paneles con elementos estructurales de madera de pino caribe (pies derechos o paralelos) con uniones clavadas, depende de manera determinante de las propiedades de resistencia a la compresión que presente el material de recubrimiento.

3.4. COMPARACIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN DE LA DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN ENTRE PANELES SIN RECUBRIMIENTOS Y CON RECUBRIMIENTOS

Se aprecia en la **FIG. 11**, que en las primeras cargas aplicadas del ensayo, ocurren los máximos coeficientes de variación para ambos tipos de paneles, es decir, la deformación por compresión entre paneles resultaron ser muy variables para las mismas cargas aplicadas, desde 500 kg hasta 1.500 kg. Por el contrario, desde los 2.000 kg hasta los 6.000 kg, ocurre una respuesta más homogénea y menos variable entre los paneles en estudio, ante la aplicación de las mismas cargas, siendo esto expresado por los menores valores de coeficiente de variación.

En la comparación de los coeficientes de variación de la deformación por compresión entre tipos de paneles para las diferentes cargas aplicadas durante el ensayo, se aprecia una tendencia de mayor variabilidad de respuesta para los paneles con recubrimiento que los observados para los paneles sin recubrimiento. Para las primeras cargas aplicadas, se destaca que la mayor variabilidad de respuesta se presenta para los paneles con recubrimiento, específicamente para los 500 kg, de igual forma se observa, que desde los 2.000 kg hasta los 4.500 kg, la variabilidad de respuesta y la deformación por compresión para los

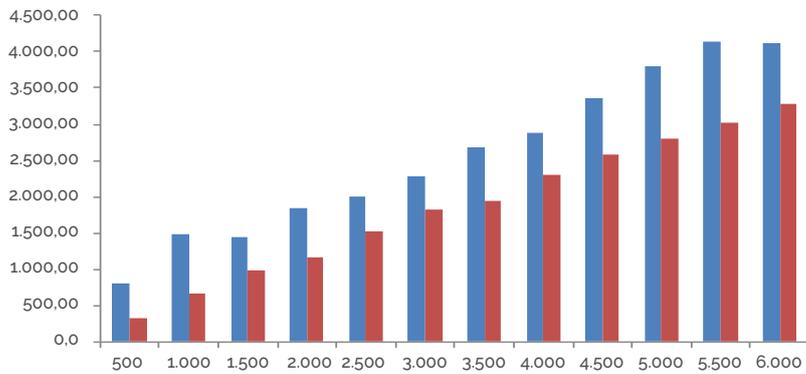


FIG. 10

Comparación entre la deformación promedios por compresión entre paneles sin recubrimientos (azul) y con recubrimientos (rojo).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

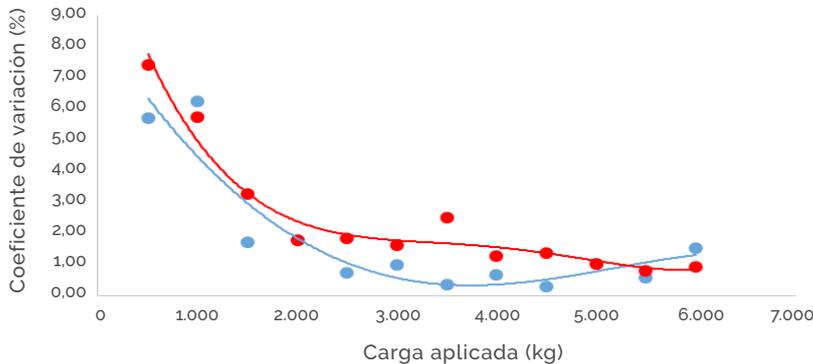


FIG. 11

Comparación entre los coeficientes de variación de la deformación por compresión entre paneles sin recubrimientos (azul) y con recubrimientos (rojo).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

paneles con recubrimiento ante cargas aplicadas es ligeramente mayor que para los paneles sin recubrimiento. Finalmente, entre los 5.000 kg y los 6.000 kg se aprecia una respuesta similar tanto para paneles con recubrimiento como sin recubrimiento (similar tendencia).

La evidencia de mayor variabilidad de respuesta de compresión de los paneles con recubrimiento ante las cargas aplicadas en el estudio, nos permite afirmar preliminarmente, que la participación de la malla riplex y el friso de cemento-arena, le confieren mayor resistencia, sin embargo, la calidad de conformación de este tipo de recubrimiento debe ser atendido para lograr resultados más consistentes y menos variables.

3.5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN COMPRESIÓN DE PANELES SIN RECUBRIMIENTOS Y CON RECUBRIMIENTOS

La deformación experimentada por los paneles ensayados, resalta que los paneles sin recubrimiento tienden a deformarse predominante en dirección al plano del panel frente a las cargas de compresión. Al respecto, se destaca que en muchos casos cada elemento vertical se deformaba aleatoriamente hacia diferentes direcciones para cada carga aplicada en un mismo panel, esto fue evidente en las primeras cargas (500 kg - 2.500 kg). Sucesivamente a ello, cuando las cargas cercanas a la ruptura eran aplicadas se apreciaba una sola dirección de deformación en el plano del panel, con lo cual se puede afirmar, para este tipo de panel (sin recubrimiento), ante cargas de compresión, sus elementos (pies derechos o parales) sufren el efecto de esbeltez en columnas, debido a que la fuerza aplica-

da tiende a ser liberada por la menor dimensión que en este caso es en dirección al espesor de la pieza, ya que es la sección de menor dimensión (5 cm de espesor x 10 cm de ancho y 244 cm de alto).

Por el contrario, al evaluar el comportamiento de los paneles con recubrimiento, se observó que tienden a reaccionar predominantemente de manera diferente a los paneles sin recubrimiento, es decir, la reacción expresada en términos de deformación de los paneles con recubrimiento ante las cargas de compresión resultaron ser evidentes en el sentido perpendicular al plano del panel. Considerando el fenómeno descrito anteriormente (esbeltez de los paneles), en este caso, la malla riplex y el cemento le confieren al panel un efecto conjunto de sus constituyentes (paneles), lo cual origina una variación en la esbeltez de los paneles cuando se coloca la malla y en este caso la deformación fue expresada de forma perpendicular al plano del panel (por los 10 cm de espesor del panel).

En las **FIG. 12 y 13**, se aprecia el comportamiento de los valores promedios de deformación de paneles sometidos a cargas de compresión. En las graficas se observan 3 líneas, donde cada una de ellas se corresponde con los valores promedios de deformación de paneles medidos a diferentes alturas en cada panel ensayado:

- A la altura de 206cm en el panel, la cual se corresponde con la altura media comprendida entre los 244cm y 167 cm, siendo esta observación la denotada como 1/3 (de color azul en la gráfica).
- A la altura de 125 cm en el panel, la cual se corresponde con la altura media comprendida entre los 167 cm y 84 cm, siendo esta observación la denotada como 2/3 (de color rojo en la gráfica).
- A la altura de 42 cm en el panel, la cual se corresponde con la altura media comprendida entre los 84 cm y 0 cm, siendo esta observación la denotada como 3/3 (de color verde en la gráfica).

En la **FIG. 12**, se destaca que para las cargas aplicadas comprendidas entre los 500 kg y 3.000 kg, se destaca que los valores de deformación promedio para las alturas 1/3, 2/3 y 3/3 en el panel sin recubrimiento, expresan un comportamiento bastante similar. Entre 3.500 kg y 4.500 kg, se aprecia una ligera tendencia a ocurrir las mayores deformaciones a la altura de 2/3 y las menores en para las alturas 1/3 y 3/3 en el panel. Las mayores diferencias de deformación para las diferentes alturas en observación, se presentan cuando las cargas aplicadas están comprendidas entre los 5.000 kg y 6.000 kg, donde la mayor magnitud de deformación ocurre a la altura de 2/3 en el panel, y las menores deformaciones para las alturas de 1/3 y 3/3 en el panel. Se destaca que el comportamiento de deformación promedio para las alturas de 1/3 y 3/3 en el panel, para las cargas aplicadas desde los 500 kg hasta los 6.000 kg, resulto con mínimas diferencias.

En la **FIG. 13**, se aprecia que a medida que la carga aplicada aumenta, los valores promedios de deformación se incrementan. A título de observación, es importante mencionar que por el hecho de que todos los paneles con recubrimiento no lograron la ruptura por limitaciones de la maquinaria de ensayos, ésta situación permitió realizar observaciones de deformación hasta los 10.500 kg.

Para las cargas aplicadas comprendidas entre los 500 kg y 7.000 kg, se destaca que los valores de deformación promedio para las alturas 1/3, 2/3 y 3/3 en el panel con

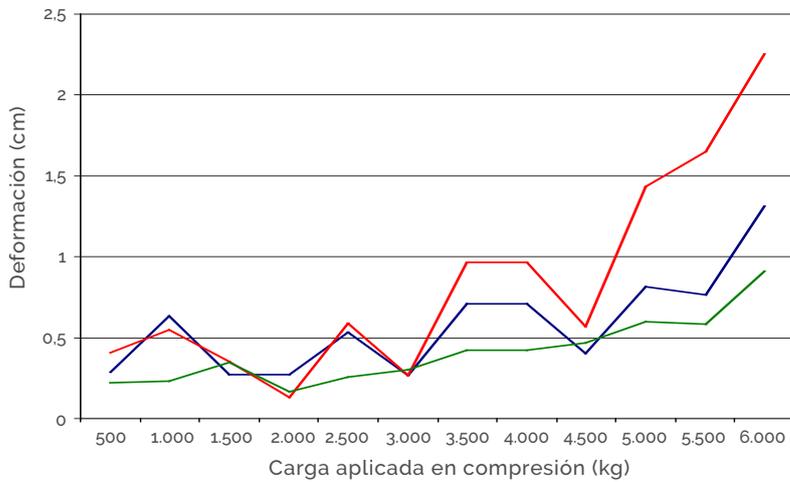


FIG. 12

Promedios de deformación (cm) para alturas de 1/3 (azul), 2/3 (rojo) y 3/3 (verde) en los paneles sin recubrimientos sometidos a cargas de compresión.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

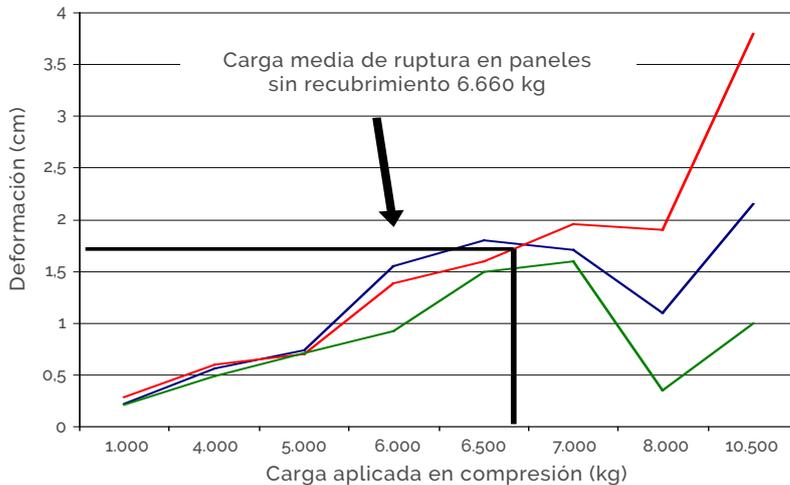


FIG. 13

Promedios de deformación (cm) para alturas de 1/3 (azul), 2/3 (rojo) y 3/3 (verde) en los paneles con recubrimientos sometidos a cargas de compresión.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

recubrimiento, expresan un comportamiento bastante similar, de hecho, al ser comparado con los promedios de deformación para las mismas cargas pero para paneles sin recubrimiento, se aprecia que éstos últimos presentaron deformaciones notablemente más variables para las diferentes alturas en estudio.

A los 8.000 kg se observa de manera notable una disminución de la deformación, ocurriendo un comportamiento similar para el 1/3, 2/3 y 3/3 de altura en los paneles, siendo la causa más asignable la fractura del concreto o mortero a cargas inferiores a los 8.000 kg. A los 10.500 kg, se destaca que la mayor deformación ocurre a la altura de 2/3 en el panel, y las menores deformaciones ocurren a las alturas de 1/3 y 3/3 en el panel.

En la **FIG. 13**, se observa que para el promedio de carga de ruptura de paneles sin recubrimiento (6.660 kg), la deformación en paneles con recubrimiento apenas alcanzaba 1,75 cm.

Es importante, mencionar con respecto a los resultados de deformación de paneles con y sin recubrimiento, que estos ensayos expresan valores promedio que necesariamente son mayores que los que se puedan obtener en una vivienda que utilice el sistema de entramado utilizando el diseño de panel en estudio, puesto que el efecto conjunto de paneles en un muro limita las deformaciones laterales (en el plano del panel).

3.6.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COMPARAR LA DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN EN LOS PANELES ENSAYADOS

Una vez comprobado los supuestos estadísticos necesarios (normalidad, aleatoriedad y homocedasticidad) se realizó una prueba Univariante del Modelo Lineal General para analizar si existen diferencias estadísticas entre la deformación promedio de los paneles, considerando como variables independientes las cargas aplicadas durante el ensayo (500kg, 1.000kg, 1.500 kg, 2.000 kg, 2.500 kg, 3.000 kg, 3.500 kg, 4.000 kg, 4.500 kg, 5.000 kg, 5.500 kg hasta los 6.000 kg) y el tipo de Panel (sin recubrimiento y con recubrimiento) contrastándolas como la variables dependientes de los correspondientes valores de deformación por compresión.

Se observó en los resultados del Modelo Lineal General (Univariante), que la significancia tanto del Modelo Corregido, como de la variable cualitativa Tipo de Panel, la variable cualitativa Carga Aplicada y la interacción Panel*Carga (Sig. 0,000) fue inferior al valor estadístico de 0,01, por lo tanto existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_n$), lo cual implica, que existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tipos de paneles en estudio y las cargas de compresión aplicadas con un nivel de confianza del 99%.

En este sentido, se procedió a realizar una evaluación estadística de tipo post hoc (*a posteriori*) encontrando como resultados que tanto por la prueba de Scheffe como la prueba de Tukey se corroboraron tres (3) grupos, los cuales son:

- a) Para las cargas de compresión de 500 kg, 1.000 kg y 1.500 kg como la significancia (Sig. 0,074, Sig. 0,105 y Sig. 0,082) fue superior al valor estadístico de 0,05 para los tres casos, por lo tanto no existe evidencia suficiente para rechazar H_0 , lo cual implica, que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tipos de panel para dichas cargas y la variable de respuesta de compresión.
- b) Para las cargas de compresión de 2.000 kg, 2.500 kg, 3.000 kg y 3.500 kg, como la significancia (Sig. 0,03, Sig. 0,015, Sig. 0,03 y Sig. 0,013) fue inferior al valor estadístico de 0,05 para los cuatro casos, por lo tanto existe evidencia suficiente para rechazar H_0 , lo cual implica, que existen diferencias estadísticas significativas entre los tipos de panel para dichas cargas y la variable de respuesta de compresión.
- c) Para las cargas de compresión de 4.000 kg, 4.500 kg, 5.000 kg, 5.500 kg y 6.000 kg, como la significancia (Sig. 0,007, Sig. 0,001, Sig. 0,003, Sig. 0,008 y Sig. 0,000) fue inferior al valor estadístico de 0,01 para los cinco casos, por lo tanto también existe evidencia suficiente para rechazar H_0 , lo cual implica, que existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tipos de panel para dichas cargas y la variable de respuesta de compresión.

En otras palabras, desde cargas de compresión de los 500 kg hasta los 1.500 kg, los paneles sin recubrimientos y con recubrimientos se comportan estadísticamente igual, luego en el rango comprendido por las cargas de compresión desde los 2.000 kg hasta los 3.500 kg, ambos paneles tienen un comportamiento mecánico estadísticamente diferentes y para las cargas de compresión de los 4.000 kg en adelante, existen diferencias altamente significativas en la deformación experimentada entre los paneles sin recubrimiento y los paneles con recubrimiento de malla riplex y friso mortero cemento-arena.

3.7. ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA ESTIMAR LA CORRELACIÓN ENTRE LA CARGA APLICADA Y LA DEFORMACIÓN ENTRE LOS PANELES ENSAYADOS

Utilizando la técnica estadística de análisis de regresión, se alcanzó a estimar el grado de correlación entre la carga aplicada como variable independiente y la deformación (0,01 mm) como variable dependiente. El análisis fue aplicado tanto para paneles sin recubrimiento como para paneles con recubrimiento, siendo sus correspondientes resultados expresados en las FIG. 14 y 15, en las cuales se aprecia el incremento de la deformación en la medida que la carga aplicada fue incrementando.

La relación entre la deformación y la carga aplicada para paneles sin recubrimiento resultó expresada por el polinomio de interpolación: $Y = 657,38 + 0,61301XY$; donde Y representa la deformación del panel y X representa la carga de compresión aplicada, con un coeficiente de regresión del 89,7% (0,897), para un total de 1.832 observaciones. Para el caso de los paneles con recubrimiento resultó expresada por el polinomio de interpolación: $Y = 453,38 + 0,5044X$; con un coeficiente de regresión equivalente a 91,5% (0,915), para un total de 1.343 observaciones.

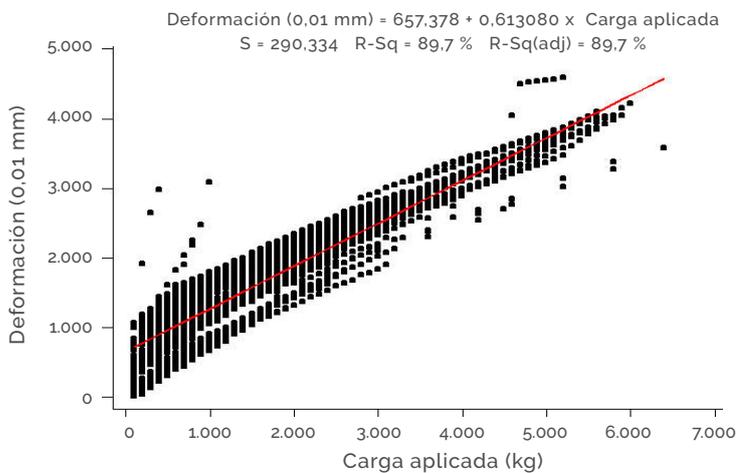


FIG. 14

Análisis de regresión para la deformación (0,01mm) y la carga aplicada (kg) en paneles sin recubrimientos.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

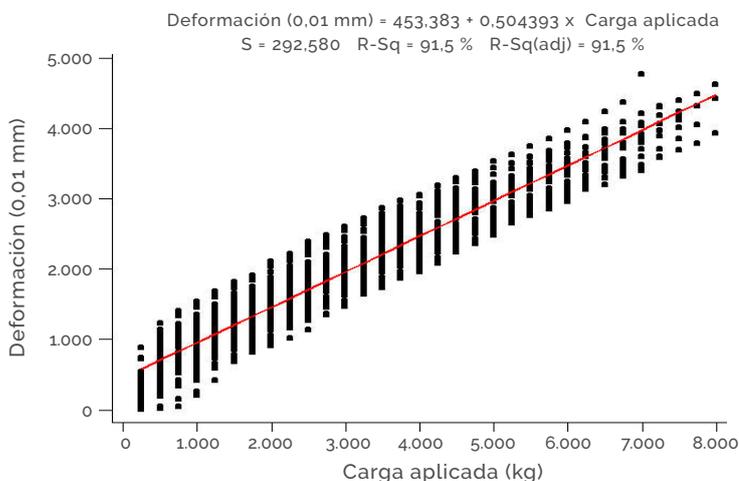


FIG. 15

Análisis de regresión para la deformación (0,01mm) y la carga aplicada (kg) en paneles con recubrimientos.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Considerando, que para ambos análisis se utilizó un ajuste de tendencia basado en la ecuación de la recta, que a su vez ambas pendientes son positivas y además que el valor de la pendiente (0,61301) es mayor para paneles sin recubrimiento que la pendiente (0,5044) para paneles con recubrimiento, se puede afirmar que los paneles sin recubrimiento sufren mayor deformación que los paneles con recubrimiento para una misma carga aplicada.

3.8. ANÁLISIS DE LA RUPTURA DE LA MADERA CONSTITUYENTE DE LOS PANELES SIN RECUBRIMIENTO

Se ensayaron hasta la ruptura 5 paneles sin recubrimientos, los cuales están constituidos en su estructura interior por 3 paraleles, cuya función es soportar la carga en compresión del panel y 4 elementos transversales a los pies derechos, cuya función es rigidizar la estructura interior del panel.

En total de los 15 paraleles constituyentes de los 5 paneles ensayados, se presentó la ruptura de 13 paraleles (87% de ruptura) para un rango de cargas entre los 6.200 kg (mínima) y 7.600 kg (máxima). Del total de paraleles fracturados (13 unidades), 9 de ellos, se correspondieron a fallas en las zonas adyacentes a las uniones de los paraleles con las traviesas, es decir, un 69% de incidencia sobre el total de piezas que fallaron, y solo 5 de estos 9 paraleles que fallaron, tenían presencia de madera juvenil, lo cual evidencia la necesidad de clasificar la madera con presencia de leño juvenil y excluirlas de las secciones con características estructurales.

A manera ilustrativa, se presenta en las **FIG. 16 y 17** las ubicaciones de la ruptura de los pies derechos dentro de cada panel sin recubrimiento.

FIG. 16

Vistas de las rupturas de los paneles 1 y 2 y sus localizaciones.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

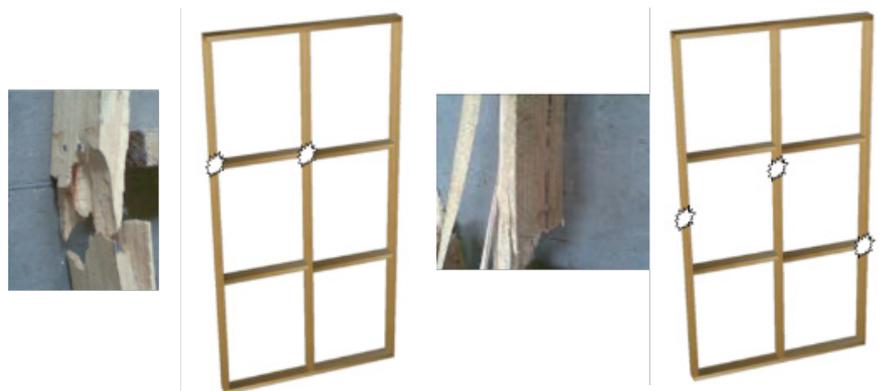


FIG. 7

Vistas de las rupturas de los paneles 1 y 2 y sus localizaciones, siendo la del panel 5 muy similar a la del 2.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La resistencia a la compresión de los paneles que conforman el sistema constructivo de entramado ligero de plataforma elaborado con madera de pino caribe venezolano, está influenciada principalmente por las singularidades de la madera (defectos como la madera juvenil y sus nudos). Es de gran importancia la clasificación visual de las piezas que conformaran los paneles y más cuando de pino caribe se trata, ya que es evidente el comportamiento tan distinto entre la madera juvenil (ubicada hacia el centro de árbol) y la madera madura (ubicada hacia la periferia del tronco) del mismo árbol, lo cual da una similitud a tener dos maderas distintas en un mismo árbol. En este sentido, los resultados permiten comprobar que la presencia o ausencia de singularidades en la madera son determinantes de sus valores de resistencia.

Considerando los resultados obtenidos a partir de los análisis estadísticos, se puede inferir que existen diferencias importantes en cuanto a la capacidad de carga en la resistencia a la compresión y la deformación experimentada entre paneles con y sin recubrimiento.

Se evidenció que a partir de los 2.000 kg de carga de compresión aplicada en adelante, existen diferencias estadísticas significativas en las deformaciones en el plano del panel y perpendicular al plano entre los paneles sin recubrimiento y los paneles con recubrimiento respectivamente. Sin embargo, para los rangos de cargas de compresión comprendida entre los 500 kg y los 1.500 kg, ambos paneles se comportaron estadísticamente iguales.

Se presume que el comportamiento general ante cargas de compresión de los paneles y la deformación de sus elementos (pies derechos o paraleles), sufren el efecto de esbeltez en columnas, debido a que la fuerza aplicada tiende a ser liberada por la menor dimensión que en este caso es en dirección al espesor de la pieza, ya que es la sección de menor dimensión (5 cm de espesor x 10 cm de ancho y 244 cm de alto).

Caso contrario, para los paneles con recubrimiento, la deformación fue expresada en sentido perpendicular al plano del panel, es decir, considerando el fenómeno descrito anteriormente (esbeltez de los paraleles), en este caso, la malla riplex y el friso de cemento – arena, le confieren al panel un efecto conjunto de sus constituyentes (parales), lo cual origina una variación en la esbeltez de los paraleles cuando se coloca la malla y en este caso la deformación fue expresada de forma perpendicular al plano del panel (por los 10 cm de espesor del panel).

De manera general y expresando una tendencia de variación similar a los paneles sin recubrimiento, se puede afirmar que a medida que la carga en compresión se incrementa, las deformaciones del panel con recubrimiento también aumentan.

Durante la aplicación de las primeras cargas de compresión, ocurren asentamientos de la estructura del panel, evidenciados por una elevada variabilidad de respuesta de deformación de paneles sujetos a compresión, asignando como posible causa, la calidad de las uniones y las características de los elementos estructurales que conforman el panel, lo cual se podría minimizar mediante un prensado durante el proceso de armado del panel, como en el caso de la fabricación automatizada de paneles.

De manera general se puede afirmar que los valores de resistencia a la compresión obtenidos durante los ensayos, superaron ampliamente las expectativas al inicio de la

investigación, alcanzándose valores de hasta 7.600 kg para paneles sin recubrimiento y 10.000 kg para paneles con recubrimiento sin evidenciar ruptura.

Con base a los resultados de estos ensayos a escala real, se puede afirmar que la madera de Pino caribe venezolano proveniente de las plantaciones forestales de Uverito, pueden ser utilizada de forma satisfactoria en la construcción de viviendas bajo el sistema constructivo de entramado ligero (*light framing*) de forma confiable, siempre y cuando se realice una adecuada clasificación de sus elementos y una conformación de paneles acorde a las exigencias estructurales del caso.

Como principales recomendaciones se propone promover las metodologías de la clasificación visual de las piezas de madera de pino caribe con diversos grados de defectos y presencia de madera juvenil, a fin de categorizar las piezas acorde al uso dentro de las estructuras.

Se recomienda un exhaustivo estudio de uniones que simulen paneles encontrados de manera perpendicular o que generen esquinas en una vivienda, así como el efecto conjunto de varios paneles unidos lateralmente en forma de muro portante y evaluar el comportamiento del sistema.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación y los asentamientos sufridos por los paneles en las primeras cargas de compresión, se recomienda realizar un prensado en el momento del armado de los paneles, con la finalidad ajustar las uniones de sus elementos. En caso contrario, cuando no sea posible realizar dicho prensado post armado, se recomienda dentro del contexto de la instalación de una casa con estructura de madera (entramado ligero), levantar primero los muros y soportar el techos hasta la suma de cargas de los componentes de la cubierta, para luego proceder a frisar las paredes, logrando así gracias a la carga de su estructura, el mencionado efecto de asentamiento de los paneles y previniendo con esto problemas posteriores como las grietas en el friso.

En virtud a los tipos de ruptura y los porcentajes de incidencia dentro de cada panel, se recomienda realizar evaluaciones para mejorar la posible acción que ejercen las uniones sobre la resistencia del panel, así como realizar ensayos comparativos de paneles con traviesas versus paneles sin traviesas, tal y como en términos generales es el sistema constructivo europeo (solo parales).

Divulgar los resultados obtenidos en esta investigación tanto a las industrias del aserrío nacional, como en los diferentes centros académicos y de investigación relacionados, con la finalidad de estimular y promover el desarrollo de la primera norma venezolana para la construcción bajo el sistema constructivo de entramado ligero en madera.

Para finalizar, se recomienda realizar estudios comparativos del comportamiento mecánico de paneles a escala real tanto en ensayos destructivos convencionales, como con ensayos no destructivos (*Non Destructive Testing*).

— 5. AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF) de la Universidad de Los Andes, por los ensayos experimentales; a la empresa forestal Maderas del Orinoco C.A., por la donación de la materia prima para los ensayos; y al Dr. Julio Cesar Centeno por sus oportunas orientaciones.

6.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AN. 2009. *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Asamblea Nacional. Caracas, Venezuela. 26 p.
- BOSCH, X. 2011. *Estudio de nudos rígidos en estructuras de madera laminada*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Catalunya - Barcelonatech. Barcelona, España. 144 p.
- CLOQUELL BALLESTER, V., CONTRERAS MIRANDA W., M.E. OWEN de C. 2010. *La madera y sus productos forestales. Sistemas constructivos*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 138 p.
- CONTRERAS MIRANDA, W., M.E. OWEN de C. y Y. CONTRERAS MIRANDA. 2003. *Sistema constructivo Uverito*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 110 p.
- ESTRADA, S. 2012. *Durabilidad bajo condiciones climáticas del panel compuesto ligero auto portante tipo sándwich de caras derivadas de la madera que se emplea como sistema de cerramiento de cubiertas*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. España. 182 p.
- INE. 2014. La vivienda en Venezuela. Instituto Nacional de Estadística. Ministerio del Poder Popular de Planificación. En línea: <http://www.ine.gov.ve/> [Consultado: 09/11/2015].
- JUNAC. 1985. *Manual de diseño para madera*. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú.
- ORTA, R. 2014. Déficit de la vivienda en Venezuela. Cámara Inmobiliaria de Venezuela. En línea: <http://www.camarainmobiliaria.org.ve/> [Consultado: 12/02/2016].
- PAGUAY, I. 2013. *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: Platuquero (Stylocerassp), Yagual (Polylepisracemosa), Nogal (Juglansneotropica)*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 137 p.
- REYES, E., S. VALERO, Y. MOLINA, D. GARAY, J. DURAN, P. MORENO y R. BETANCOURT. 1995. Estudio de las propiedades mecánicas de la especie *Pinus caribaea Mor. var. Hondurensis Barr.*, no resinados y resinados proveniente de las plantaciones de Uverito, estado Monagas. *Laboratorio Nacional de Productos Forestales*, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 85 p.
- TARANILLA, D. 2009. *Estudio comparativo de viabilidad económica y comercial de promociones de viviendas: Sistema convencional y Sistema industrializado de acero ligero*. Tesis Maestría. Universidad Politécnica de Catalunya - Barcelonatech. Barcelona, España. 122 p.
- TRIGUEROS, S. 2011. *Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. Puesta en obra y aceptación en España*. Tesis Maestría. Universidad Politécnica de Catalunya - Barcelonatech. Barcelona, España. 151 p.