

GENERACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS FORESTALES PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES A PARTIR DE GRAMÍNEAS Y RESIDUOS DE PLANTACIÓN DE PINO CARIBE (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*).

**Wilver Contreras Miranda (1)^P, Mary Elena Owen de C.(1),
Vicente Cloquell Ballester (1), Yoston Contreras Miranda (2).**

1. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Valencia, España. Email: wilconmi@doctor.upv.es
2. Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF) Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Venezuela Email: yostonj @ula.ve

SUMMARY

Two projects which comprise research and development (R+D) are presented and industrial design of new forest products from the elaboration of structural systems from alternative lignocelulosic materials, such as grass harvest like brava cane (*Gynerium sagittatum*), bamboo (*Bambusa vulgaris*) and guadua (*Guadua angustifolia*), as well as from waste of a Caribbean pine plantation (*Pinus* Var. *Hondurensis*). Results from research that has been developed at the National Forest Product Laboratory of the University of the Andes, Merida, Venezuela are presented. Results of elaborated products were made, put on trial and validated according to each type, by using the Venezuelan Norms COVENIN, German Norms, DIN, American Norms, ASTM and Forintek Norms, Canada. Positive results, both in product design, its processes and values on physical and chemical and mechanical properties were determined, representing an innovative gain to the Forest Industry, within an ecological vision which goes from an environmentally integrated design (EID), tropical natural forest protection, new species plantation foment, ecoefficient processes, life cycle of a product, to administration policies referred to the industrial development of the Venezuelan forest sector.

Key words: forest products, Caribbean pine, brave cane, bamboo, guadua, structural systems, environmentally integrated design (EID), forest sector, Venezuela.

RESUMEN

Se presentan dos proyectos que engloban la investigación y desarrollo (I+D) y el diseño industrial de nuevos productos forestales para la elaboración de sistemas estructurales a partir de materiales lignocelulósicos alternativos, como lo son el aprovechamiento de gramíneas como la caña brava (*Gynerium sagittatum*) bambú (*Bambusa vulgaris*) y guadua (*Guadua angustifolia*), así como de los residuos de las plantaciones de pino caribe (*Pinus* Var. *Hondurensis*). Se presentan los resultados de las investigaciones que han sido desarrolladas en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Se elaboraron, ensayaron y convalidaron los resultados de los productos fabricados, según su tipo, con las normas venezolanas COVENIN, alemanas DIN, americanas ASTM y del Forintek de Canadá. Se determinaron resultados positivos tanto en el diseño del producto, su proceso y los valores en las propiedades físicas y mecánicas, representando un aporte innovador a la Industria Forestal, dentro de una visión ecologista que va desde el Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), la protección de los bosques naturales tropicales, el fomento de plantaciones de nuevas especies forestales, los procesos eco-eficientes, el ciclo de vida del producto, hasta las políticas de la Administración referidas al desarrollo industrial del sector forestal venezolano.

Palabras claves: Productos forestales, pino caribe, caña brava, bambú, guadua, sistemas estructurales, Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), Sector Forestal, Venezuela.

1. INTRODUCCION.

Hace casi más de una década que se empezó a promocionar en el sector de la Industria Forestal mundial, toda una gama de productos forestales innovadores

canadienses de la empresa Truss Joist MacMillan, los cuales presentaban altas prestaciones de calidad estructural como el *Microlam*, que fue la primera realización industrializada de piezas estructurales de hasta 24 metros a partir de chapas de madera paralelas y encoladas; el *Laminated Veneer Lumber (LVL)*; y el *Parallel Strand Lumber, Parallam PSL* (Madera laminada en tiras paralelas). Toda esa labor de difusión se dio en parte al Forintek Canadá Corporation (1993), el Canadian Construction Materials Centre (1993), así como de revistas especializadas de alto impacto técnico internacional, tanto en el entorno de las naciones de habla inglesa como las de española. En España, se da el caso del Boletín Técnico de la Asociación de Investigación Técnica de la Madera y el Corcho (AITIM), por su gran difusión en los países hispanos, en especial los de América Latina. Las presentes propuestas de productos forestales estructurales se fundamentan en la concepción de un Parallam, el cual es un producto que se define como; tiras de material lignocelulósico dispuestas en forma paralela de espesor de 2 mm a 4 mm, longitud de 2,5 metros y contenido de humedad entre el 8% - 12%, provenientes de chapas de desenrollo de Douglas Fir ó pino del sur, las mismas son encoladas con resina de fenol-formaldehído sometidas a presión y calor, permitiendo alcanzar un elemento de alta resistencia en las propiedades físicas y mecánicas, así como a las inclemencias del medio ambiente (Forintek Canadá Corporation, 1993).

Los productos que comercializa la empresa MacMillan, vinieron ha cambiar, en la década de los años noventa, los paradigmas establecidos en la Industria Forestal, fundamentalmente en la de madera laminada encolada, por su proceso de diseño de productos industriales, sistemas de producción, tecnología, pero principalmente, desde el punto de vista medioambiental, al aprovechar de una manera sostenible el recurso madera (especies Douglas Fir o Southern pine) proveniente de los bosques boreales de Norte América (<http://www.trusjoist.com/>).

Todo ese contexto, motivó el desarrollo de éstos productos en Venezuela a partir del año 1993, donde se tenía como objetivo principal del trabajo, elaborar elementos estructurales, tipo *Parallam*, a partir de tiras de la gramínea llamada vulgarmente caña brava (*Gynerium sagittatum*) y, de tiras de madera provenientes de los residuos de las 622 mil hectáreas de plantaciones de pino caribe (*Pinus caribaea Var. Hondurensis*) ubicadas al sur de los estados Monagas y Anzoátegui (CVG-Proforca, 1990; Contreras y Owen de Contreras, 1997; Owen de Contreras y Contreras, 1997). En ese sentido, se piensa, que con el aprovechamiento integral de éstos como materia prima, aumentarían las perspectivas de insumos constructivos para la industria de la construcción y del mobiliario, en forma de tableros aglomerados para cerramientos, parasoles, mobiliario, entrepisos y, en forma de elementos laminados para fines estructurales.

Por otro lado, se consideró en ése entonces que era importante realizar y mejorar en el tiempo estas investigaciones, a fin de que permitieran demostrar al sector industrial de Venezuela, la factibilidad de poder construir ese tipo de elementos laminados, partiendo del concepto canadiense de *Parallam*, pero adaptándolo a las nuevas necesidades y exigencias técnicas del país. Todo ello, en especial el presente trabajo, ha fundamentado otras investigaciones que han aportado nuevos y mejores planteamientos de diseño de productos y procesos industriales, los cuales han sido patentados en el Servicio Autónomo de Patentes Industriales (SAPI) del Ministerio de Industria y Comercio, Caracas, Venezuela. Finalmente, estas

propuestas muy peculiares dentro de la Industria Forestal, a partir del Diseño Ambientalmente Integrado (*dAI*) se transforman en aportes originales al plantear el uso de un material ligno-celulósico, como lo es la caña brava – con proyección al bambú (*Bambusa vulgaris*) y guadua (*Guadua angustifolia*) – que en buena parte, pertenecen a la cultura constructiva tradicional de Venezuela y América Latina. Mientras tanto el pino caribe, y su gran potencial de material de residuos industriales y de los aclareos de las plantaciones, es la madera de obra que Venezuela requería, por satisfacer la demanda de madera en el tiempo a un menor costo; permitiendo a la Industria Forestal, ofertar productos y componentes constructivos forestales que puedan suplir las grandes necesidades habitacionales y de confort de las familias venezolanas, especialmente, las más desposeídas social y económicamente (Ninin, 1994; Contreras et al, 1998).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

Las investigaciones se realizaron en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF antiguo LABONAC), de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. El desarrollo del proceso de fabricación de los elementos laminados en su fase preliminar de evaluación del adhesivo fenol – formaldehído RESIFEN 4429 y Catalizador ADIPOL 2039 de la empresa venezolana RESIMON CA (1994), se fundamentó en las experiencias planteadas por Freas y Selbo (1954); Slooten (1964), Youngquist (1979); Rivera (1988) y Rivera (1994). Para la obtención, transformación, tratamientos y acondicionamiento de la materia prima, las cuales son completamente distintas, dependió según sus propiedades anatómicas, físicas y mecánicas (Zobel, 1989; Torres y Ninin, 1993; Contreras, Espinoza de Pernía y Owen de Contreras, 1998). Se procesaron mecánicamente los tallos de caña brava y se obtuvieron tiras con espesores promedios de 3 mm, largo 3100 mm y ancho aproximado de 30 mm.

En el caso de las tiras de pino caribe, que se obtuvieron de troncos provenientes de residuos de plantación, una vez descortezados, se consiguieron tiras sólo del leño juvenil de las piezas de pino caribe con dimensiones de 3 mm de espesor, 30 mm de ancho y 700 mm de largo, cortados en trancha (corte vertical), mientras que las tiras del Parallam canadiense son por desenrollado y de 2400 mm de largo. El uso de la madera juvenil, correspondió a la consideraciones técnicas expuestas, entre otros, por Zobel (1989), Ninin (1994), Torres y Ninin (1993), y León y Espinoza de Pernía (2002), en que uno de los grandes problemas que presenta el uso industrial del pino caribe para la elaboración de elementos estructurales y componentes constructivos de gran calidad estructural y estabilidad dimensional es la presencia, en una misma pieza, de los dos tipos de maderas que constituyen el fuste de un árbol de pino caribe, la madera juvenil y la madera adulta. Entonces lo que se busca para mejorar sus propiedades, es tratar de separar o disminuir porcentajes de participación de ambos tipos de madera en una misma pieza.

El proceso de elaboración del Parallam se fundamentó en los principios expuestos por AITIM (1993) y la Trus Joist MacMillan (<http://www.trusjoist.com/>), haciendo los debidos cambios técnicos de elaboración a partir del diseño de encofrados, proceso de encolado, etc. (Contreras y Owen de Contreras, 1997). Los ensayos de las propiedades físico – mecánicas de las vigas a escala real y probetas extraídas de

los elementos laminados elaborados, se realizaron de acuerdo a las Normas DIN y ASTM respectivamente.

Específicamente en los ensayos de la propiedad mecánica de Flexión Estática para las vigas a escala real, se realizó según el Programa y Metodología para Ensayo a Escala Natural de la JUNAC (1982). Los resultados obtenidos fueron evaluados a través de análisis estadísticos, y el empleo del Programa CRICKET, bajo el Sistema Operativo WINDOWS, el cual permitió elaborar las gráficas de los ensayos de flexión estática, compresión paralela y perpendicular para obtener la carga límite y la deformación, con el fin de poder calcular el Esfuerzo Límite Proporcional (ELP), Modulo de Elasticidad (MOE) y Modulo de Rotura (MOR), permitiendo así comparar con las normas empleadas, para luego llegar a conclusiones y recomendaciones confiables.

Se hizo uso además del software estadístico SSPS, para procesar toda la información técnica. Una vez desarrollados los datos finales se utilizó para convalidarlos la Tabla de Esfuerzos de Diseño para Parallam (PSL) del Centro de Materiales de Construcción Canadiense CCMC 11161-R (Canadian Construction Materials Centre, 1993); el Manual de Esfuerzos de Diseño para Maderas Venezolanas del IFLA (Cuadro 1) (Centeno, 1983); y el Estudio de Propiedades Físico-mecánicas de Pino Caribe de 10, 15 y 20 Años de Edad realizado en LNPF (LABONAC– CVG Proforca, 1990). En el presente trabajo sólo se muestran los valores promedios comparados con cada una de las normas.

Grupo básico g/cm ³	Densidad	Flexión PAR (Fb)	Compresión PERP (Fp)	Compresión (Vigas)	Cizalla E 0,5	MOE
A	D>0,71	200	150	50	15	140.000
B	0,70>D<0,56	140	110	35	12	120.000
C	0,55>D<0,40	100	80	25	10	90.000
D	0,39>D<0,32	75	60	15	8	80.000

Cuadro 1. Esfuerzos de diseño para madera de calidad estructural (kg/cm²) (Centeno, 1983).

3. RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

3.1. Ensayos preliminares realizados al adhesivo fenol formaldehído.

En los ensayos preliminares realizados para estudiar la línea de cola hecha con resina fenol formaldehído RESIFEN 4429 y catalizador ADIPOL 2039, de la Compañía RESIMON C.A., se determinó que la vida útil (5 horas), tiempo de ensamblado abierto (2,45 horas) y tiempo de ensamblado cerrado (4 horas), fueron tiempos suficientes para trabajar de forma holgada en la fabricación del elemento laminado tipo Parallam, con tiras de caña brava de densidad 0,82 gr/cm³ y pino caribe de densidad 0,59 0,82 gr/cm³. Los ensayos de cizallamiento, que permitieron evaluar las líneas de cola fenol formaldehído en las distintas superficies de las tiras de la caña brava, se determinó que el 95% de la falla principal fue en la caña y un 99% en la madera de pino caribe, ya que existió, entre otros factores, en la fabricación de las probetas una excelente aplicación de calor (120°C) y presión (150 kg/cm²) (Contreras y Owen de Contreras, 1997).

Técnicamente algunas de las probetas de caña brava ensayadas en las pruebas de cizallamiento, indujeron a determinar que cuando coincidía una cara externa de una tira de caña brava con otra cara externa de otra tira, y al presentar éstas, una superficie con características anatómicas impermeables y muy lisas, las líneas de cola eran más débiles ya que no se producía una buena humectación del adhesivo. Se analizó, después de estudiar cada una de las probetas que presentaron fallas de cola (5% del total), que se pudiera repetir este caso, si la presión del encofrado diseñado no llegase a ser la requerida. Además de que con ese tipo de superficie tan lisa e impermeable que presentaba el material caña brava, al momento de elaborar las vigas a escala 1:1, pudiera llegarse a producir una mala unión entre las tiras, ya que no se generaban las condiciones propicias para un buen enlace específico. Caso contrario sucedió con el análisis del estudio de las uniones entre las tiras de pino caribe, que una vez secas a un contenido de humedad promedio menor al 5%, no se presentó esa inquietud ya que los enlaces entre tiras fue mejor en razón de la porosidad que presenta la estructura anatómica de la madera juvenil del pino caribe, facilitando de esta manera, un excelente enlace mecánico.

3.2. Resultados obtenidos en los ensayos de propiedades físicas y mecánicas del elemento laminado, tipo *Parallam*, de tiras de caña brava y el de tiras de pino caribe con adhesivo fenol formaldehído.

Se demuestra que es factible elaborar elementos laminados, tipo *Parallam*, a partir de tiras de caña brava y tiras de madera de pino caribe (figura 1). Los cuadros 2 y 3 presentan, la síntesis de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los elementos laminados, tipo *Parallam*, tanto para las vigas a escala 1:1 de los elementos laminados de tiras de caña brava y pino caribe, así como de las probetas extraídas de las vigas, todas con anchos menores a 89 milímetros según exigencia del CCMC.



Figura 1. Parte de los elementos laminados *CAÑALLAM* y *PINOLLAV*, listos para ser aserrados para la obtención de vigas y bloques para probetas de ensayos.

En la lectura de los cuadros de la tabla que expone los valores obtenidos de los esfuerzos de diseño del *Parallam* de Douglas Fir y Southern Pine de Canadá CCMC 11161-R (Canadian Construction Materials Centre, 1993), se puede apreciar que existen dos valores que determinan, según sea la forma, como se aplicó la carga sobre las probetas del *Parallam*. Un valor, según sea la propiedad, es la aplicación de la carga en el sentido perpendicular a la cara más ancha de la tira, que en los cuadros 2 y 3 se define como P_{\perp} . Los otros valores corresponden a la aplicación de la carga en el sentido paralelo de la cara más ancha de la tira

señalada como P_{\parallel} . Por otro lado en los cuadros 2 y 3 se identifica al elemento laminado, tipo *Parallam*, de tiras de caña brava como *CAÑALLAM*, y al de pino caribe como *PINOLLAV* (elemento laminado venezolano de pino caribe).

En ese sentido, al analizar el cuadro 1, se puede ver que en la norma canadiense CCMC 11161-R no aparece el valor de la densidad como una propiedad

fundamental para realizar análisis técnicos más profundos respecto a los productos estructurales venezolanos desarrollados. Lo que si esta claro es que el valor de la densidad del *CAÑALLAM* es alta (alta densidad), y que al comparar con el cuadro 1 de Centeno (1983), se puede ubicar a éste producto en una categoría del grupo estructural A, mientras que el *PINOLLAV* se coloca en el grupo estructura C. Esto tiene que ver con la densidad misma de cada uno de los materiales, la caña brava (densidad seca al horno de $0,88 \text{ gr/cm}^3$) (Contreras et al., 1998), y la del pino caribe ($0,59 \text{ gr/cm}^3$) (LABONAC – CVG Proforca, 1990), además del peso intrínseco que suma la incorporación del adhesivo, así como la compactación por presión hidráulica, que hace que se tenga una mayor cantidad de material orgánico por centímetro cúbico. Aquí la distribución de la materia prima dentro del encofrado diseñado, juega un rol en que la densidad no sea uniforme en los elementos estructurales. La calidad mecánica del encofrado realizado para la presente investigación fue deficiente y presentó problemas al momento de elaboración de las vigas, lo cual impidió alcanzar las presiones técnicas solicitadas.

Al analizar los valores de los ensayos de las probetas extraídas de las vigas laminadas a escala 1:1, tipo *Parallam*, de tiras de caña brava y adhesivo fenol formaldehído, fueron menor en la propiedad de compresión perpendicular a la fibra respecto a las exigencias de la norma CCMC 11161-R. En los valores de las propiedades de flexión estática, compresión paralela y cizallamiento sobrepaso los valores de la norma del CCMC, lo cual indica que es un producto que puede ser usado para la elaboración de productos estructurales laminados de forma industrial. En el caso de las vigas a escala 1:1 del *CAÑALLAM*, el cuadro 3 presenta los valores de flexión estática, los cuales fueron menores que la norma canadiense en una forma significativa, lo contrario a los valores obtenidos en las probetas. Al momento del ensayo a escala real de las vigas, en cada una de ellas, se apreció que al comenzar la aplicación de las cargas, se iniciaba un sonido de falla por las líneas de cola. Otro detalle técnico de resaltar, es que no existió en ningún momento una falla en las tiras de caña brava, y que por su gran elasticidad, se generaron fallas de corte o cizallamiento en forma sub bloques hasta que se llegó a alcanzar una curvatura en que los registros de deformación se estabilizaron, acto en que se dio por terminado cada uno de los ensayos (figura 2).

Se determinó que la principal causa negativa en la obtención de los valores bajos de la flexión estática de las vigas, así como en la de compresión perpendicular de las



Figura 2. Elemento laminado *CAÑALLAM*, al momento de la realización del ensayo de flexión estática.

probetas, fue la mala humectación de la cola en las superficies de las tiras cuando coincidían las caras impermeables externas de las tiras de caña brava, además de la falta de una presión uniforme que permitiera hacer un buen enlace específico, por el tipo de superficie que caracteriza a la cara externa de la caña brava. Por ello, se recomienda hacer un tratamiento de lijado o cepillado de las mismas previo acondicionamiento de secado, a fin de poder buscar un enlace del tipo mecánico en la unión.

Respecto al elemento laminado, tipo *Parallam*, a partir de tiras de madera juvenil de pino caribe *PINOLLAV*, se demostró al igual que el *CAÑALLAM*, la factibilidad de fabricar de manera exitosa este tipo de producto forestal con calidad estructural.

En los esfuerzos de diseño determinados en las probetas del *PINOLLAV* expuestos en el cuadro 2, se puede ver que arrojó algunos valores bajos de una forma significativa respecto a la norma del CCMC, especialmente en las propiedades mecánicas de: flexión estática MOE (lo cual indica que presenta muy poca elasticidad y requerirá diseños de elementos laminados más esbeltos, así como la disposición de menores luces o apoyarse en elementos estructurales secundarios, como el caso de mensuras arriostradas); compresión paralela a la fibra o grano ELP; y en la compresión perpendicular respecto a los valores en el sentido paralela a la cara ancha de las tiras del Southern Pine, más no del Douglas Fir.

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN PROBETAS DE ANCHO MENOR A 89 MILIMETROS				
PROPIEDAD	PRODUCTO FORESTAL ESTRUCTURAL		NORMA CANADÁ DEL CCMC 11161-R PARA PARALLAM (PSL)	
	CAÑALLAM	PINOLLAV		
Densidad promedio (g/cm ³)	0,82	0,58	X	
Flexión estática (Kg/cm ²)	ELP	254,36 P [⊥]	264,19 P [⊥]	
		196,27 P [∥]	X	
	MOR	X	361,73 P [⊥]	X
		103.000,00 P [⊥]	47.000,00 P [⊥]	80.000,00 P [⊥]
MOE	70.000,00 P [∥]	X	X	
Compresión paralela al grano (Kg/cm ²)	ELP	215,00 P [⊥]	157,34 P [⊥]	
	MOR	293,04 P [⊥]	253,00 P [⊥]	
	MOE	33.000,00 P [⊥]	27.339,00 P [⊥]	
Compresión perpendicular al grano (Kg/cm ²)	ELP	21,00 P [⊥]	S. Pine 36,87 P [⊥]	
			Douglas Fir 33,72 P [∥]	
	X	50,47 P [∥]	S. Pine 61,83 P [∥]	
			Douglas Fir 52,67 P [∥]	
Cizallamiento (Kg/cm ²)		15,36 P [⊥]	36,92 P [⊥]	
		53,70 P [∥]	47,60 P [∥]	
Tenacidad (m- Kg)		2,3 P [⊥]	0,28 P [⊥]	
Dureza		218,13 P [⊥]	400,68,36 P [⊥]	
		186,83 P [∥]	274,35 P [∥]	

Cuadro 2. Valores obtenidos de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de las probetas extraídas de las vigas de Cañallam y Pinollav, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, así como los valores del Parallam (PSL) de la Trus Joist MacMillan determinados en el Canadian Construction Materials Centre (CCMC).

En el cuadro 3, se exponen los ensayos obtenidos de las vigas *PINOLLAV* a escala 1:1, cuyos valores fueron mayores a los estipulados por la norma CCMC 11161-R. De esta forma se comprueba, además, que sí es posible revalorizar la madera juvenil de esta especie con elementos laminados tipo *Parallam*. Esto permite considerar a este material como una alternativa viable para su uso en vigas, viguetas y columnas, como elementos estructurales en la construcción de edificaciones.

Por otro lado, al comparar el CAÑALLAM respecto al PINOLLAV, se debe considerar, primero, de que sus materias primas son completamente diferentes, una respecto a la otra. La caña brava es una gramínea perteneciente a las angiospermas, clase monocotiledóneas, y el pino caribe es una conífera perteneciente a las gimnospermas, sub división pinaceae (Cronquist, 1981). Segundo, el puede decir que en este trabajo, el CAÑALLAM es superior por sus propiedades de elasticidad, en valores de los esfuerzos de diseño de las probetas respecto al PINOLLAV en densidad, flexión estática, compresión paralela a la fibra y tenacidad. Se denota que donde resultaron menores los valores del CAÑALLAM respecto al PINOLLAV es en los esfuerzos de diseño de la propiedad de flexión estática de las vigas, así como en el cizallamiento, resaltándose la mala calidad de las líneas de cola entre las tiras de caña brava. En la propiedad de compresión perpendicular se puede inferir que la caña brava por su estructura anatómica de una monocotiledónea, presenta menor resistencia que el sistema tubular de fibras del pino caribe.

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN VIGAS A ESCALA 1:1			
PROPIEDAD	PRODUCTO FORESTAL ESTRUCTURAL		NORMA CANADÁ DEL CCMC 11161-R PARA PARALLAM (PSL)
	CAÑALLAM	PINOLLAV	
Densidad promedio (g/cm ³)	0,82	0,47	X
Flexión estática (Kg/cm ²)	ELP	163,65 P _⊥	209,73 P _⊥
	MOR	182,48 P _⊥	X
	MOE	127.200,00 P _⊥	93.077,00 P _⊥

Cuadro 3. Valores obtenidos de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de las vigas escala 1:1 de Cañallam y Pinollav, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, así como los valores del Parallam (PSL) de la Trus Joist MacMillan determinados en el Canadian Construction Materials Centre (CCMC).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se demostró la factibilidad técnica de elaborar a partir de tiras de pino caribe y de caña brava (*Gynerium sagittatum*), elementos laminados estructurales del tipo Parallam (PSL). Esta investigación abre iguales perspectivas de uso, para las gramíneas de características anatómicas similares a la caña brava, como el bambú (*Bambusa vulgaris*) y la guadua (*Guadua angustifolia*). Los elementos laminados fabricados permiten el fácil procesamiento mecánico del aserrío, labrado mecanizado, y sus acabados superficiales, finales son uniformes y agradables. Los valores de las propiedades físicas y mecánicas de probetas de ambos productos estructurales, demuestran que no existió una densidad uniforme en las vigas elaboradas. El encofrado empleado para la fabricación de los elementos estructurales laminados tipo Parallam, fue defectuoso en su diseño y fabricación, lo cual no permitió alcanzar la presión requerida (15 Kg/cm²) y uniforme. Los elementos laminados arrojaron en sus esfuerzos de diseño, respecto a la norma canadiense CCMC 11161-R, más valores positivos en todas sus propiedades, que

negativos, además de que en el presente estudio se determinan otras propiedades que son importantes para el análisis de un producto forestal laminado. Se recomienda hacer un proceso de lijado o cepillado a las tiras de la caña brava en su superficie externa lisa e impermeable, a fin de facilitar y mejorar el proceso de encolado, lo cual permitirá aumentar significativamente sus propiedades mecánicas. Se recomienda elaborar éste tipo de productos con otro tipo de adhesivos, como el Isocianato (MDI) que es de menor impacto medioambiente que el fenol formaldehído. Elaborar estudios de factibilidad económica a fin de definir costos industriales, así como promover en Venezuela la siembra de plantaciones de caña brava, bambú y guadua para la elaboración de productos estructurales laminados y de cerramientos.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, Adolfo Rivera Ocando, Jorge Durán Pulido, Darío Garay Jerez, Prof(a). Narcisana Espinosa de Pernía, Prof. Franz Rosso. A los técnicos del LNPF – ULA – MARN, Elexides Marquez, Rolando Betancourt, Will Style Valero, Yoston Contreras Miranda.

BIBLIOGRAFÍA

AITIM. Canadá. Edición especial N° 162. Enero - Febrero. Madrid, España. 1993.

Canadian Construction Materials Centre (CCMC). Evaluation Reports and Listings. Introductory Information of Chinese Forester. 1993.14(2): 39-60.

Centeno, J. Normas para la clasificación de Madera Estructural. Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA). Mérida, Venezuela. 1983.

Contreras, W., N. Espinosa de Pernía y M. Owen de C. Variabilidad del contenido de humedad en los periodos de luna llena y menguante, densidad y contracción del tallo de la caña brava *Gynerium sagittatum*. Revista Forestal Venezolana. 1998. 42(2): 97 – 102.

Contreras, W., y M. Owen de C. Elaboración de un elemento laminado, tipo *Parallam*, con tiras de caña brava *Gynerium sagittatum* y resina fenol – formaldehído. Revista Forestal Venezolana. 1997. 41(1): 29 – 36.

Cronquist, A. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press. New York, USA. 1981.

Forintek Canadá Corporation. Proyectos de Investigación. Boletín Técnico de la Asociación de Investigación Técnica de la Madera y el Corcho (AITIM). Madrid, España. 1993.162:84-115.

Freas, A. D. and Selbo, M.L. Fabrication and Desing of Glued Laminated Wood Structural Members. Forest Products Laboratory. Madison, U.S.A. 1954.

<http://www.trusjoist.com/> (Visitado el 12/05/04).

Junac. Manual de diseño y normas para ensayos de madera. Lima, Perú. 1982.

LABONAC–CVG Proforca. Estudio de Propiedades Físico-mecánicas de Pino Caribe de 10, 15 y 20 Años de Edad. Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LABONAC).Mérida, Venezuela.1990.

Ninin, L. La nobleza del pino caribe. Avance para CVG – Proforca. Uverito. Estado Monagas, Venezuela. 1994.

León W., y N. Espinosa de Pernía. Anatomía de la madera. Universidad de Los Andes Consejo de Publicaciones. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT-ULA). Mérida, Venezuela. 2002.

Owen de C. M., y W. Contreras. Elaboración de un elemento laminado, tipo *Parallam*, con tiras de pino caribe *Pinus caribaea* Var. *Hondurensis* y resina fenol – formaldehído. Revista Forestal Venezolana. 1997. 41(2): 129 – 136.

RESIMON, C.A. Boletín Técnico Provicional. Mes de Julio. Valencia. Venezuela. 1994.

Rivera, A. Adhesivos o colas para maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 1994.

Rivera, A. Corte y secado de Chapas. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 1988.

Torres, L., y L. Ninin. Tecnología del aserrado: Síntomas de control de calidad de trozas. Boletín técnico N° 4. INDEFOR. CVG – Proforca. Mérida, Venezuela. 1993.

Youngquist, J. Desing, fabrication, testing and instalation of a Press-Lam. Bridge Res. Pap. FPL- 332. USA. Forest Serv., Forest Prod. Lab. Madison. Wisconsin, USA. 1979. pp:19.

Zobel, J. Word variation – its causes and control. Springer. Verlag. Berlin, Heidelberg. Germany. 1989.

CORRESPONDENCIA.

Wilver Contreras Miranda.

Departamento de Ingeniería.

Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Camino de Vera s/n. 46022.

Valencia, España.

wilconmi@doctor.upv.es