

DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE DISEÑO DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL LAMINADO, DENOMINADO CAÑALLAM, CON TIRAS DE CAÑA BRAVA (*Gynerium sagittatum*) Y ADHESIVO FENOL - FORMALDEHÍDO

Wilver Contreras Miranda¹, Mary E. Owen de Contreras²,
Yoston Contreras Miranda³.

RESUMEN

Se obtuvieron probetas de los extremos del elemento estructural laminado, tipo Parallam(PSL), de tiras de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo fenol-formaldehído. Los ensayos de propiedades físico-mecánicas se realizaron de acuerdo a las Normas DIN y ASTM. Se comparó con la norma canadiense CCMC 11161-R. Los esfuerzos de diseño fueron satisfactorios respecto a la norma. Existe relación entre la calidad de las líneas de cola y los valores bajos obtenidos en las propiedades mecánicas. La causa negativa fue la mala humectación de la cola y presión en las superficies de las tiras cuando coincidían las caras impermeables externas de estas.

Palabras claves: Estructura, esfuerzos de diseño, probetas, elemento laminado, Parallam (PSL), caña brava, fenol formaldehído.

(1) Arq.M.Sc, Profesor de Diseño y Desarrollo de Productos, Vivienda y Muebles CEFAP -ULA. Investigador LNPF - MARN -ULA. Email: Wilver_c@hotmail.com; (2) Arq.M.Sc. Profesora de Tecnología EDI - FAAULA. Investigadora LNPF - MARN - ULA. Email: conowen@cantv.net; (3) Ing. For. Estudiante CEFAP - ULA e Investigador LNPF - MARN - ULA. Email: yostonj@hotmail.com.

**DETERMINATION OF THE EFFORTS OF DESIGN OF A
LAMINATED STRUCTURAL MEMBER , OF NAME CAÑALLAM,
WITH RIBBONS OF CAÑA BRAVA (*GYNERIUM SAGITTATUM*)
AND ADHESIVE PHENOL - FORMALDEHYDE.**

SUMMARY

Test tubes of the ends of the laminate element were obtained, type Parallam (PSL) of ribbons of caña brava (*Gynerium sagittatum*) and adhesive phenol-formaldehyde. The trials of physical-mechanical properties were carried out according to the DIN and ASTM Norms. They were compared with the Canadian Norm CCMC 11161-R. The design efforts were satisfactory regarding the norm. Relationship exists between the quality of the glue lines and the low values obtained in the mechanical properties. The negative cause was the bad humidity of the glue line and pressure in the external faces of the ribbons when the external waterproof faces of the ribbons coincided.

Key words: Estructure, design efforts, test tubes, laminated member, Parallam (PSL), caña brava, formaldehyde adhesive.

INTRODUCCIÓN

El presente compendio técnico define parte del proyecto de la realización de un elemento estructural laminado, tipo "Parallam" (PSL), con tiras de caña brava y adhesivo fenol-formaldehído (Contreras y Owen de C., 1997), denominado como Cañallam, donde se determinó a partir de la obtención de probetas extraídas de los extremos del Cañallam fabricado, según las propiedades físico - mecánicas, los esfuerzos de diseño y sus posibles usos con fines estructurales para la industria de la construcción.

En este sentido, Freas y Selbo (1954), definieron el término de madera laminada cuando se refiere al material encolado de pequeñas piezas de madera en forma recta o curvilínea, con el grano de todas las laminaciones paralelas a la longitud del elemento.

Uno de los aportes de mayor envergadura en los últimos tiempos de la ciencia y tecnología de los productos forestales, es el desarrollo e innovación de la investigación realizada por el FORINTEK CANADA CORPORATION, en una serie de productos de cerramientos, pero muy especialmente el Parallam (PSL) *Parallel Strand Lumber* ó madera de tiras paralelas, según lo reportado por el Instituto de Investigación de la Construcción de Canadá (CCMC 1993).

El Parallam es un elemento estructural que sirve para la elaboración de grandes elementos estructurales para cubrir grandes luces como lo son las cerchas, y elementos de menor dimensión para cubrir luces espaciales más modestas de las edificaciones que pueden ser cubiertas por vigas, viguetas, forjados, etc.

Tal como quedo demostrado en el I Congreso Iberoamericano de Productos Forestales, realizado el mes de Noviembre 2000, en la Universidad de Bio - Bio, Concepción Chile (CIPF Bio - Bio, 2000), donde este proyecto fue presentado, ésta investigación dinamiza, aporta y contribuye a la cultura tecnológica actual de la Industria Forestal venezolana e internacional, partiendo del uso un material lignocelulósico no tradicional como lo es la caña brava.

La caña brava actualmente es un material empleado de forma exclusiva en el ámbito artesanal. Con el aprovechamiento integral de esta gramínea, aumentarían las perspectivas de insumos constructivos para la industria de la construcción y del mobiliario, en forma de laminados para fines estructurales, como el Cañallam.

El Parallam (PSL), en Canadá, está permitido para usos constructivos residenciales y comerciales, además es una alternativa para la madera aserrada en vigas, columnas, correas, cerchas, etc. Es importante resaltar, que la tecnología del "Parallam" sigue siendo en la actualidad, la mayor innovación en materia de productos laminados a nivel mundial, siendo desarrollado por la compañía Truss Joist MacMillan.

Por tales razones se consideró importante realizar un elemento laminado denominado Cañallam, partiendo del concepto canadiense de "Parallam", pero adaptándolo a nuestras propias necesidades y limitadas exigencias técnicas, además del empleo de un material lignocelulósico como lo es la caña brava, perteneciente a la cultura constructiva tradicional de Venezuela y América Latina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en las instalaciones de la Sección de Contrachapados del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Los materiales y equipos empleados para la realización de la presente y particular investigación, fueron en su gran mayoría los mismos empleados del Slooten (1964) para la fabricación de los arcos laminados, con madera de samán para la estructura que cubre actualmente el techo de la Sección de Contrachapados de LNPF, con una luz entre apoyo de 22 metros.

Todos los resultados de los ensayos preliminares realizados a los adhesivos empleados de fenol - formaldehído, han sido reportados por Contreras y Owen de C.(1997). Las resinas fenólicas evaluadas fueron la RESIFEN 4429 y la 4439 con el Catalizador ADIPOL 2039, fabricados por la Empresa RESIMON C.A. ubicada en la Ciudad de Valencia, Estado Carabobo, Venezuela (RESIMON CA, 1994). La resina seleccionada por sus características positivas para la investigación fue la RESIFEN 4429 con el Catalizador ADIPOL 2039.

La caña brava *Gynerium sagittatum*, fue obtenida de las riberas del Río Mocotíes, Santa Cruz de Mora, Capital del Municipio Pinto Salinas del Estado Mérida, Venezuela. La caña brava se transformo en tiras; se secó; acondicionó para alcanzar el contenido de humedad no mayor del 8% CH según lo exigido

técnicamente por el fabricante para su idónea aplicación del encolado, en la encoladora de rodillos.

Se formó una manta con las tiras orientadas en la dirección longitudinal, dentro del encofrado propuesto para el elemento a fabricar (Figura 1), debidamente presionados de manera continua por 72 horas se le aplicó un sistema de calefacción por radiación eléctrica de resistencias ubicadas en la parte inferior del encofrado metálico, luego tapados por una lona y una cámara de chapas de madera de bucare (Figura 2). Culinado este proceso se obtuvo una pieza

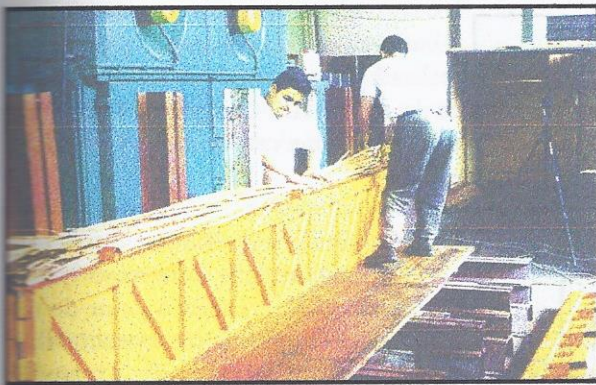


Figura 1. Introducción de las tiras encoladas al encofrado metálico.

continua con las dimensiones de 120 mm * 240 mm * 3900 mm.

Las piezas obtenidas, fueron cortadas a las dimensiones requeridas para ser sometidas a los ensayos de flexión estática a escala natural para el elemento L (120 mm * 240 mm * 3100 mm). Se extrajeron de cada uno de los

extremos de las vigas a escala real, dos bloques debidamente identificados como Modulo A y Modulo B, que según las exigencias de las Normas alemanas DIN y americanas ASTM, se realizó el diseño de extracción de las probetas según las propiedades físico - mecánicas a fin determinar los esfuerzos de diseño del Cañallam.

Una vez ensayadas las probetas de acuerdo a las condiciones requeridas y obtenidos los valores, 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 E.L.P., M.O.E. y M.O.R. Desarrollados los cuadros de resultados según las normas consultadas DIN y ASTM, permitió realizar la comparación con la Tabla de Esfuerzos de Diseño para Parallam (PSL) del Centro de Materiales de Construcción Canadiense, (CCMC 11161-R, 1993), lo que permitió llegar a conclusiones y

B.- Valores resumen de las propiedades físico - mecánicas de las probetas extraídas de las vigas a escala natural del Cañallam.

Los resultados de las propiedades físico-mecánicas de las probetas extraídas de las vigas a escala natural, sometidas al ensayo de flexión estática del elemento laminado, fueron comparados con los valores de las cargas paralelas a la cara ancha de la tira (plano radial) y los valores de la carga perpendicular a la cara ancha de la tira (plano tangencial), del Cuadro 1 *Tabla de esfuerzos de diseño para Parallam (PSL) del Centro de Materiales de Construcción Canadiense, CCMC 11161-R*, por considerar que es la única referencia de comparación más fidedigna, debido a que son elementos laminados de similar concepto y características, pero con la debida consideración de que se han trabajado con materiales lignocelulósicos muy diferentes, como lo son la madera del Douglas Fir y Southern Pine, respecto a la caña brava.

Los Cuadros 2 y 3, muestran los valores resumen obtenidos de todas las propiedades físicas y mecánicas a las cuales fueron sometidas las probetas extraídas antes de ser ensayadas las vigas a escala natural.

Es importante resaltar que las probetas del Cañallam, se les realizaron todos los ensayos de las propiedades que se les determinan a una madera sólida, las cuales algunas de ellas como Compresión // al grano MOR (Kg/cm^2) ; Compresión // al grano MOE ($\text{Kg}/\text{cm}^2 \cdot 1000$) y Tenacidad, no las contempla la norma canadiense del CMC 11161-R.

La determinación de estas propiedades se realizaron como una manera de poder tener una idea más precisa de las vigas fabricadas a escala natural y una vez puestas en uso sea estable y seguro. De aquí que se deben superar las fallas constructivas del proceso de fabricación descritas en la presente investigación, ya sea empleando la tecnología original del Parallam (PSL), o diseñar una nueva forma de elaborar el Cañallam adaptada a las condiciones socio - tecnológicas de Venezuela. De esta manera podemos llegar a inducir que se tendrá de un producto de alta calidad estructural muy superior a lo determinado actualmente y aún superior al mismo Parallam (PSL) canadiense.

Cuadro 1. Tabla de esfuerzos de diseño Parallam (PSL) del Centro de Materiales de Construcción Canadiense CMC 11161-R.

Propiedad	Grado 2,0	Grado 2,0 (convertido)
Flexión	20,0 Mpa	203,73 Kg f/cm ²
a) Probetas < 89mm	23,0 Mpa	234,73 Kg f/cm ²
b) Probetas = 241 mm	20,6 Mpa	209,73 Kg f/cm ²
Tensión paralela al grano	16,5 Mpa	168,08 Kg f/cm ²
Compresión paralela al grano	20,0 Mpa	203,73 Kg f/cm ²
Compresión perpendicular al grano:		
➤ Douglas Fir		
Carga paralela a la cara ancha de la tira.	5,17 Mpa	52,72 Kg f/cm ²
Carga perpendicular a la cara ancha de la tira.	3,31 Mpa	33,72 Kg f/cm ²
➤ Pino del Sur		
Carga paralela a la cara ancha de la tira.	6,07 Mpa	61,83 Kg f/cm ²
Carga perpendicular a la cara ancha de la tira.	3,62 Mpa	36,87 Kg f/cm ²
Cizallamiento horizontal:		
Carga paralela a la cara ancha de la tira.	2,00 Mpa	20,37 Kg f/cm ²
Carga perpendicular a la cara ancha de la tira.	1,45 Mpa	14,77 Kg f/cm ²
Módulo de elasticidad.	13790 Mpa	140475,99 Kg f/cm ²

Cuadro 2. Propiedades mecánicas en probetas de Cañallam $p < 89$ mm con valores menores expuestos en la Norma Canadiense (NC).

	Cañallam	Parallam
		NC
Flexión estática MOE (Kg/cm ²)	103® 70 (T)	140
Compresión // al grano MOR (Kg/cm ²)	293,04	X
Compresión // al grano MOE (Kg/cm ² *1000),)	33	X
Compresión L al grano ELP (Kg/cm ²)	21	Pinos Sur 36,87 Douglas Fir 33,72
Dureza	(E) 186,83 (L) 218,13	X

Cuadro 3. Valores de las propiedades mecánicas en probetas de Cañallam $p < 89$ mm, con valores mayores expuestos en la Norma Canadiense (NC).

	Cañallam	Parallam
		NC
Flexión estática ELP (Kg/cm ²)	294,36 ® 196,27 (L)	243,73
Compresión // al grano ELP (Kg/cm ²)	215,97	203,73
Cizallamiento (Kg/cm ²)	15,36	14,77
Tenacidad m-kg	2,3	X

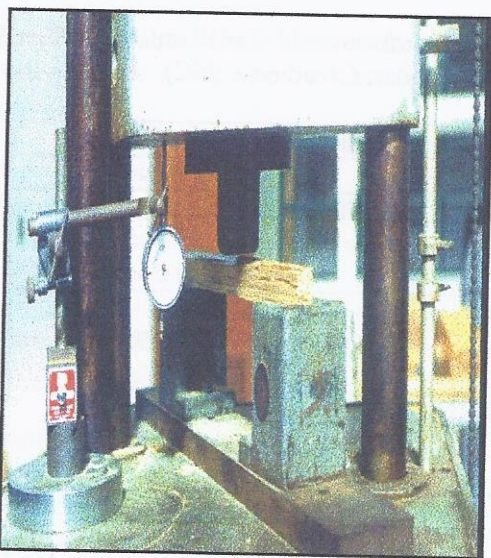


Figura 4. Ensayo Flexión de probetas obtenidas de los extremos del Cañallam

Finalmente, se aprecian no solo fallas técnicas de poca presión, sino también una mala distribución de las tiras dentro del encofrado. Esto ocasionó una discontinuidad física en la estructura interna de los elementos Cañallam elaborados, en razón de que las probetas donde si existió una buena adherencia del adhesivo, tal como se determino en los ensayos preliminares expuestos por Contreras y Owen de C. (1997), los valores fueron positivos a ser comparados con la norma canadiense presentada en el Cuadro 1, en las propiedades mecánicas de flexión estática (ELP), compresión paralela al grano (ELP), cizallamiento y tenacidad, con la aplicación de la carga en el sentido perpendicular a la cara ancha de la tira.

En resumen se puede inducir que los valores bajos obtenidos en las propiedades mecánicas de flexión estática (MOE) (Figura 4), compresión paralela al grano (MOR y MOE), compresión perpendicular al grano (ELP) y dureza (Figura 5), sean debidos a la falta de presión proporcionada por el encofrado metálico lo que permitió que se originara el que no se diera la etapa de humectación en las superficies de las tiras de caña brava y mas cuando coincidían en la línea de cola los adherendos impermeables de la cara externa de la corteza de las tiras.

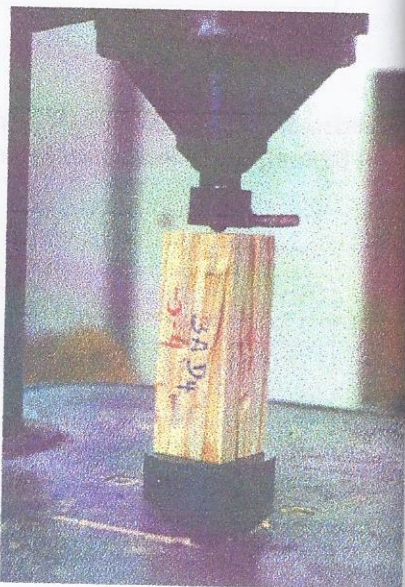


Figura 5. Ensayo de Dureza o probetas

CONCLUSIONES

1. La presente investigación, determina la factibilidad técnica de manufacturar a partir de tiras de caña brava *Gynerium sagittatum*, el elemento laminado, tipo Parallam, definido como Cañallam, y diseñado para que funcione como componente único estructural de vigas, viguetas y columnas.
2. El valor promedio de densidad seca al aire de las probetas del elemento laminado Cañallam, se registró en $0,8210 \text{ gr/cm}^3$, lo cual permite clasificar en esta primera etapa al elemento laminado realizado en la presente investigación, en la Clase III, Categoría Media, por estar en el intervalo de $0,65 < D < 0,85 \text{ gr/cm}^3$.
3. Se determinó que la causa principal para la atención de los valores bajos alcanzados por las probetas obtenidas de las cinco vigas ensayadas del Cañallam, en las propiedades mecánicas de flexión estática (MOE), compresión paralela al grano (MOR y MOE), compresión perpendicular al grano (ELP) y dureza, puede ser debido a que no existió la presión suficiente en el elemento laminado por las características de diseño del encofrado empleado para la fabricación de las vigas, permitiendo que no se diera la etapa de humectación en la superficie de las tiras, originando líneas de cola de mala calidad cuando coincidían las superficies externas impermeables de las tiras de caña brava.
4. Los resultados alcanzados en los ensayos de propiedades mecánicas para las probetas obtenidas de las cinco vigas ensayadas, en flexión estática (ELP), compresión paralela al grano (ELP), cizallamiento y tenacidad, con la aplicación de la carga en el sentido perpendicular a la cara ancha de la tira, cumplen con las exigencias de la norma canadiense para elementos laminados tipo Parallam (PSL), porque existió en esas probetas una buena formación de las líneas de cola entre la cara impermeable de una tira con la cara porosa o parenquimotosa de la otra.

RECOMENDACIONES

1. Diseñar una nueva forma de elaborar los elementos laminados, a partir de tiras unidas de manera uniforme para que forme esteras o capas, lo cual agiliza y facilita el proceso de encolado, genera una uniformidad en la estructura interna de los elementos y por ende una estructura física más rígida y fuerte, permitiendo alcanzar densidades más altas ($1 - 1,10 \text{ gr/cm}^3$). La aplicación de la presión puede ser por rodillos o planchas térmicas.
2. Eliminación mediante un procesamiento mecánico sencillo de lija o cepillado de factor negativo representado por la cutícula externa impermeable de las tiras de caña brava, para así poder lograr un mejor enlace que garantice una respuesta adecuada de las líneas de cola a los esfuerzos a que son sometidas en los ensayos de las propiedades mecánicas.
3. Desarrollar elementos laminados de tiras de caña brava con otras resinas más amigables con el ambiente y cuyas emanaciones no sean tan dañinas tanto al medio como al ser humano que las manipula, caso los isocianatos MDI, u otros adhesivos cuya fuente de origen sea orgánica.
4. Elaborar un proyecto de factibilidad económica, que evalúe los costos de fabricación industrial de los elementos estructurales laminados y promover la instauración de varias plantas industriales en el centro, occidente y oriente del país, a fin de disminuir costos de transporte.

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal docente, administrativo, técnico y obrero del LNPF - MARN - ULA, que con su apoyo incondicional hicieron posible la presente investigación, especialmente a los profesores Adolfo Rivera, Jorge Durán, Darío Garay, Gladys Mogollón y Narcísana Espinoza de Pernía. A los Ingenieros Forestales Yoly Molina y Will Styles Valero, a los técnicos Elexídez Márquez y Rolando Betancourt, y al Ing. Franz Azuaje Jefe Investigaciones RESIMON CA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CCMC 11161-R. 1993. Evaluation Reports and Listings. Introductory Information of Chinese Forester . CANADIAN CONSTRUCTION MATERIALS CENTRE. 14 (2): 39-60.
2. CONTRERAS W. Y M. OWEN DE C. 1997. Elaboración de un elemento estructural laminado, tipo
3. Parallam, a partir de tiras de caña brava *Gynerium sagittatum* y adhesivo fenol - formaldehído.
4. Rev. Forest. Venez. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
5. Mérida, Venezuela. 41(1)1997. pp: 23 - 29.
6. FREAS, A.D. & SELBO, M.L. 1954. Fabrication and Desing of Glued Laminated Wood Structural Members. Forest Products Laboratory. Madison, USA:
7. FORINTEK CANADA CORPORATION. 1993. Proyectos de Investigación. AITIN N°162:84-115. Madrid-España.
8. SLOOTEN, H. J. 1964. Investigaciones realizadas sobre las colas Fenol - formaldehído. LABONAC. Mérida, Venezuela.
9. RESIMON, C.A. 1994. Boletín Técnico Provisional. Mes de Julio. Valencia, Venezuela.
10. TAQUIRE, A. 1995. Relación entre la estructura anatómica y las propiedades de los altos llanos occidentales de Venezuela. Centro de estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA, Mérida-Venezuela.