

LAS RESINAS FENOLICAS Y SU IMPORTANCIA EN VENEZUELA PARA LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA.

**Wilver Contreras Miranda, Mary E. Owen de C.,
Franz Rosso y Yoston Contreras Miranda.**

RESUMEN

La madera laminada, producto de los grandes avances que ha tenido en los países desarrollados, y más cuando se muestran verdaderos alardes de ingeniería y arquitectura en las grandes ferias internacionales como las de Expo Sevilla 1992 y Hannover 2000, la madera laminada, es un producto forestal que tiende cada día en la sociedad venezolana de arquitectos e ingenieros a tomar mayor interés y curiosidad, para la solución de coberturas de grandes luces, calidad estética estructural, una mayor belleza y armonía del espacio interno y externo de la edificación. Uno de los grandes problemas que plantea el uso de esta tecnología en nuestro país es el empleo indebido de adhesivos no diseñados para ser expuestos al medio exterior; limitada información técnica y mal asesoramiento de los fabricantes de adhesivos; y los deficientes criterios técnicos de fabricación, han permitido que hasta la presente fecha en Venezuela, se obtengan productos laminados de disminuida calidad en las líneas de cola, colocando en peligro la estabilidad estructural futura de la edificación. Se plantea en el presente artículo definir algunos criterios técnicos de uso y comportamiento de las resinas fenólicas, reconocidas como las mejores para obtener madera laminada de excelente calidad.

Palabras clave: Madera laminada, resinas fenólicas, sales CCA, estructura.

PHENOLIC ADHESIVES AND ITS IMPORTANCE IN VENEZUELA TIMBER HOUSING STRUCTURES MANUFACTURING

Wilver Contreras Miranda, Mary E. Owen de C.,
Franz Rosso y Yoston Contreras Miranda.

ABSTRACT

Laminated timber is gathering importance in Venezuelan timber housing constructions. This technology is suitable to be used to cover long span, aesthetic structural quality, harmony and beauty interior and exterior designs. Phenolic adhesives for exterior use, lack of technical manufacturer information, bad quality manufacturer consultancy and lack of construction standards been following by the laminated timber manufacturers are the main problems in Venezuela. Technical criteria and phenolic adhesives behavior for the Venezuelan laminated timber construction industries are discussed.

Key words: Phenolic adhesives, laminated timber, importance, Venezuela.

LAS RESINAS FENOLICAS Y SU IMPORTANCIA EN VENEZUELA PARA LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA.

Wilver Contreras Miranda, Mary E. Owen de C., Franz Rosso y Yoston Contreras Miranda.

INTRODUCCIÓN

La ingente necesidad de los arquitectos, en trabajo multidisciplinario con los ingenieros civiles, por crear obras de arquitectura como verdaderos hitos del patrimonio cultural de la humanidad, han producido edificaciones de gran magnificencia estética y estructural donde la madera laminada ha jugado un rol fundamental.

En Venezuela, solo se tiene referencia de un solo caso digno de grandeza constructiva en madera laminada, como es el de los arcos laminados del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF) Mérida, Venezuela. Lo demás a sido la fabricación de elementos rectos de medianas dimensiones empleadas en viviendas y hoteles, tal como lo refieren Contreras y Owen de C.(1999).

Producto de la preocupación que existe dentro del campo del desarrollo de la madera laminada para ser incorporada en los grandes programas habitacionales del Estado venezolano, y donde la gran preocupación es la evaluación de la calidad de las líneas de cola, en otras palabras la evaluación de la efectividad técnica de los adhesivos a ser expuestos a condiciones extremas, Barrios et al (1999), desarrollaron una investigación que evaluaron el efecto de las sales CCA en probetas de pino caribe (*Var. Hondurensis*) con adhesivo isocianato MDI y dos tipos de adhesivos fenol formaldehído elaborados en Venezuela, por la Empresa RESIMON C.A., ubicada en la ciudad de Valencia, Venezuela. En ella se determina que el adhesivo fenólico, es mejor que el isocianato y que efectivamente existe una influencia de la sales CCA sobre las líneas de cola.

Aquí se demuestra la urgente necesidad de desarrollar y profundizar en nuestro país, unas líneas de investigación sobre el uso de los adhesivos fenol formaldehído con diferentes tipos de madera ya sea de plantación o de bosque natural para la elaboración de elementos estructurales para edificaciones y muebles. No se puede negar la presión ambientalista sobre el uso de este tipo de adhesivos que producen emanaciones de formaldehído al ambiente, especialmente al momento del fraguado de la resina por acción termo química, produciendo efectos cancerígenos a los seres humanos que laboran al momento de la fabricación de los productos laminados.

En este sentido se prevé el empleo de adhesivos fenólicos de fraguado a temperatura ambiente, mientras se puedan adquirir en el mercado los adhesivos de la nueva generación, como los denominados adhesivos amigables con el ambiente, ósea los de obtención de productos orgánicos como la soya, para la fabricación de isocianatos MDI.

El presente proyecto pretende exponer un resumen técnico de las principales características de los adhesivos fenólicos para la elaboración de madera laminada, por considerar primero que la gran mayoría de investigaciones han llegado a conclusiones donde las ubica como las que mejor resisten las inclemencias ambientales. Segundo que en Venezuela existe la única empresa que puede fabricar este tipo de producto, lo cual nos quita la dependencia tecnológica de los países desarrollados en la adquisición de este producto, afectando finalmente la relación de costos por producto final.

L- PRINCIPALES USOS Y COMPORTAMIENTO DE LAS RESINAS FENOLICAS EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS LAMINADOS.

Las resinas fenólicas se forman por la reacción del formaldehído con el fenol en lo que se llama una reacción de condensación. Estas pueden considerarse en cuatro categorías: fenólicas que fraguan a alta temperatura, fenólicas que fraguan a temperatura intermedia, resorcinoles y fenol – resorcinol. La durabilidad de las colas fenólicas moderadamente alcalinas, las resinas de resorcinol y las de fenol – resorcinol, es similar entre ellas (Rivera , 1994).

En materia de madera laminada, se requiere que para producir un elemento estructural es importante dominar todas las propiedades y características del adhesivo, como también saber seleccionar, preparar y usar la madera para su aprovechamiento en la forma más ventajosa. Si todas las capas de madera se encolan con las fibras aproximadamente paralelas , como es el elemento laminado, se puede mejorar la resistencia a la flexión y la tensión en la dirección de las fibras (Chugg 1964).

En el siglo XX, la madera laminada tuvo grandes avances tecnológicos, desde el empleo de la madera sólida en forma de tablones y tablas, al empleo racional de la madera en forma de chapas (Laminated Veneer Lumber LVL), chapillas (MICROLAM) y tiras de chapas provenientes del desenrollo de madera de pino como el PARALLAM (PSL), donde la gran mayoría de estos productos han sido elaborados con adhesivos fenólicos por su resistencia al cizallamiento, al deterioro ambiental, excelente enlace mecánico y además de que tiene propiedades funguicidas.

La única desventaja del uso de los adhesivos fenólicos es su color rojizo oscuro que resalta las líneas de cola de la madera laminada, lo que hace que algunos fabricantes la objeten por marketing. Estos productos forestales han sido elaborados por los dos países que han llevado la batuta los últimos años en materia de diseño de nuevos productos forestales, como los son Estados Unidos y Canadá.

Contreras y Owen de C. (1997), realizaron un elemento laminado, tipo Parallam, a partir de tiras de caña brava *Gynerium sagittatum*, donde se empleó adhesivo fenol formaldehído de RESIMON C.A. El criterio de uso fue porque la resina fenólica cumplía con los criterios técnicos de que el adhesivo debía ser de clasificación estructural, ya que su función principal consiste en mantener juntos

los adherendos y producir alta resistencia de la viga cuando está sometida a flexión y a los esfuerzos de compresión en la parte superior, cizallamiento en la parte central y tracción en la parte inferior de la misma.

Debido a esta distribución de esfuerzos es que por diseño, en el caso de emplear madera, se ubican los mejores grados de calidad, mediana y alta (AB) de las maderas en las capas inferiores y superiores, y las de menor grado (CD), en la parte media donde lo que juega es el papel más importante es la excelencia de la línea de cola (INFOR 1987).

Los adhesivos para madera más importantes se producen por síntesis química y, dependiendo del uso final del elemento, se puede emplear para juntar los extremos de las láminas melanina - urea en producción 60: 40, en la mayor parte de los laminados para uso interior (Chugg 1964).

La determinación de emplear un elemento estructural que funcione como viga y columna, exige un tipo especial de cola. Por tales razones, se consideró en el proceso de manufactura de los elementos laminados, tipo Parallam de Contreras y Owen de C.(1997), las condiciones climáticas reinantes en la ciudad de Mérida, como por ejemplo los cambios bruscos de humedad relativa y temperatura. La cola más apropiada para resistir el efecto de la humedad, aparte de ofrecer una resistencia apreciable al ataque de hongos e insectos, es la cola fenol formaldehído.

Se reconoce que para fabricar vigas laminados, se emplean técnicas de fabricación que exigen mucha experiencia y tan igual que Slooten (1963), cuando construyó las vigas laminadas para soportar el techo de la sección de Contrachapado del LNPF, fue necesario seleccionar una cola con vida útil (pot life) y tiempo de ensamblado total suficientemente largos y que de ser posible, pudiese curar a la temperatura ambiente, para evitar la instalación de un equipo de calefacción costoso.

Lo expuesto en el párrafo anterior obligó a Contreras y Owen de C. (1997), a realizar una adaptación en la metodología del proceso de fraguado de las resinas fenólicas de RESIMON C.A. (1994), RESIFEN 4429 y 4439, las cuales por la falta de equipos apropiados para su fraguado final, y poder conjugar, con la acción de catalizadores como el ADIPOL 2039, el cual es especialmente formulado para el curado en frío de resinas fenólicas furfúricas, con un rango de tiempo de trabajo de aproximadamente 5 horas a una temperatura de fraguado de 60 - 80 °C.

Esta temperatura permite trabajar como si fuera una resina fenólica de fraguado intermedio, desarrolladas originalmente como colas durables que pueden fraguar a 100°C ó menos en cámaras calentadas eléctricamente, tal como se desarrollo en el proceso de fabricación del elemento laminado, tipo Parallam.

Una ventaja de la cola fenólica a emplear, es que tiene un pH entre $10 - 11 \pm 0,5$ de catalización alcalina, que según Rivera (1994), tiene excelentes características de durabilidad, por lo cual impulsaron su uso en contrachapado estructural, como en otras aplicaciones. Los fabricantes recomiendan intervalos en el contenido de humedad de la madera entre el 8% y el 12%.

En la década de los noventa el Laboratorio Forintek de Canadá ha desarrollado y planteado un nuevo adhesivo tipo fenólico que permite encolar las chapas y las virutas de madera con un contenido de humedad mayor, ahorrando tiempo y energía, mejorando las propiedades de estabilidad dimensional de los tableros (AITIM.162 1993), lo cual abre nuevas perspectivas de facilidad del proceso de manufactura y disminución de costos unitarios por elementos, en un futuro inmediato para la industria mecánica de la madera, por ende, un mayor aprovechamiento de los recursos forestales.

Se debe considerar que el elemento estructural laminado tipo Parallam hecho con tiras de caña brava estará sometido a servicio severo, siendo importante aplicar tratamientos que protejan el material ligno - celulósico de la caña brava contra organismos que la degradan. Por esta razón los fabricantes de productos laminados, recomiendan que se deben realizar tratamientos preservativos a los elementos laminados si van expuestos a la intemperie.

Generalmente se acostumbra a diferenciar claramente las sales retardantes de fuego de las preservantes al deterioro biológico. Por esta razón Singh y Encinas (1992), exponen que la tendencia de la industria de tratamientos de madera con sales preservantes hacia el uso de sales tipo CCA, por su reconocida acción contra el biodeterioro y su resistencia a la lixiviación.

Mientras que Kimmel et al (1994), registró que en los Estados Unidos con el uso del LVL destinado a la construcción de puentes, es apropiado y necesario un tratamiento preservativo el cual es generalmente realizado con pentaclorofenol, pero debido a sus altos costos, el tratamiento básico mas común es con sales CCA.

No obstante, Blankenhorn et al (1992), indica que con sales CCA y otros tratamientos a base de sales metálicas, una vez manufacturado el elemento laminado no se recomienda su aplicación, dando una cuestionable penetración y fijación química del preservativo en las paredes de las células de la madera, especialmente en maderas duras.

Así lo demuestran los experimentos de Gomben y Gorman (1994), con la aplicación del tratamiento preventivo al ataque de hongos e insectos a un elemento manufacturado laminado (LVL), con chapas de madera de pino longepole, realizado con pentaclorofenol, aprobando todas las recomendaciones de penetración según la Asociación Americana de preservantes para madera (AWPA).

Por consiguiente, existen además de las sales CCA muchos reportajes como los de Schaffer et al (1972) y Youngquist (1979), del Laboratorio de Productos Forestales de Madison, Estados Unidos, sobre el Presslam hecho con chapas de Red Oak y Douglas Fir de espesores de 3/8 a 1/2 pulgadas, en el cual fue exitoso el tratamiento con Creosota, incluso en la fabricación de presslam hecho con Douglas Fir se obtuvieron según Tschernitz et al (1974), retenciones muy altas aproximadamente 11,6 pcf. En investigaciones recientes Youngquist (1979), citó que se pueden mejorar las características de los tratamientos con Creosota para algunos tipos de LVL. Es fundamental citar que el uso de la Creosota es excelente como material para conservar la madera, pero es altamente contaminante para la salud humana, hecho por lo cual en Europa y Estados Unidos este producto tiene grandes limitaciones de uso.

Rivera (1994), expone que la junta encolada de tipo fenólico completamente curadas, (hechas con resinas neutras o moderadamente alcalinas) son altamente resistentes a la acción de solventes, aceites, ácidos, álcalis, preservativos de la madera y sustancias retardadoras del fuego. De manera que una junta bien hecha, encolada con resina fenol, fenol resorcinol, o de resorcinol, son difíciles de destruir sin que se destruya antes la madera misma.

Nordstrom (1995), dijo que además de obtenerse una excelente línea de cola, se debe considerar la superficie de la madera, ya que se puede usar las fibras como un medio de transporte para adhesivos como el Resorcinol - formaldehído, adicionando el incremento de retención del adhesivo con un alto contenido de sólidos, entendiendo por retención el peso obtenido del adhesivo fraguado en la junta final y la fibra final de la superficie. Se debe tener sumo cuidado en no saturar la junta por las altas deformaciones del grano final, como de la estructura

de los poros, porque se pudieran obtener valores bajos en la curva de esfuerzos, los cuales se pueden corregir con un incremento de la presión sobre las juntas de tope y grano final.

Los estudios establecen que la tensión superficial de la resina fenol formaldehído varía con el nivel de hidróxido de sodio, nivel del formaldehído y peso molecular. Las fuerzas capilares afectan el mecanismo de humedad en la madera, inhibiendo el enlace que depende mucho de los tratamientos superficiales de la madera (Haupt y Sellers 1994).

Es importante hacer entonces una observación descrita por Lambuth (1977), donde la formulación del adhesivo fenólico para chapas de madera coníferas y latifoliadas en la formación de un elemento laminado de chapas paralelas tipo LVL ó Microllam, a diferencia de elementos laminados de tablas de madera, se hace con la incorporación de rellenos y extendedores que mejoran las posibilidades de trabajo, permanencia, resistencia y otras propiedades, además disminuye el costo.

El elemento de madera Parallam (PSL) es muy similar al Microllam o LVL, pero sin descartar que existen infinidad de investigaciones del Laboratorio de Madison de los Estados Unidos, de elementos con similares características en las últimas décadas, donde se emplean las resinas fenol - formaldehído, resorcinol y fenol - resorcinol, en la eterna búsqueda de lograr mayor compatibilidad entre cola - madera, propiedades de excelencias mecánica, ahorro en consumo de adhesivo, energía para el secado y menor costo, filosofía que explica el por que se emplean con mayor frecuencia la mezcla de resinas sintéticas (Slooten 1964).

La calidad del adhesivo es un factor que se debe evaluar con sumo cuidado al momento de realizar un proyecto de fabricación de madera laminada, ya que de él depende toda la excelencia en las características de resistencia para los ensayos físicos - mecánicos del elemento laminado puesto en obra. Por ello cada día avanzan con alto grado de tecnología la respectiva normalización de los adhesivos estructurales para la madera laminada.

Las normas de mayor importancia son las americanas ASTM, que con sus especificaciones y métodos de ensayos, permiten el poder comparar la calidad de los productos manufacturados.

Investigaciones realizadas por el Laboratorio de Productos Forestales (FPL) (1977), de los Estados Unidos, determinaron que el adhesivo constituye alrededor

del 39% del costo total para producir un Preslam de seis capas. Se han encontrado otros adhesivos fenólicos que se ve prometedoros por ser de la mitad del costo de un adhesivo para madera laminada como el fenol - resorcinol, pero mayor que un adhesivo para contrachapado como el fenol- formaldehído.

Finalmente, es el costo del adhesivo quien en parte hacer aceptable la ejecución de un elemento laminado, ya que influye notablemente sobre los costos de producción, por lo que se debe optimizar el encolado y las modificaciones requeridas en la formulación de los adhesivos.

Lo anterior es muy difícil en un país como Venezuela donde apenas se produce un solo tipo de resina fenólica para madera laminada como la RESIFEN 4420, ya que las otras mencionadas son para la elaboración de tableros aglomerados y contrachapados, y que según la exposición de los fabricantes por falta de demanda de este tipo de producto, permanecerán estancadas las posibilidades de mayores y mejores investigaciones para la fabricación de elementos estructurales laminados. Existe además una diferencia entre la madera fenólica de madera laminada la cual tiene un 70% de sólidos y las de contrachapados así como las de aglomerados apenas llega al 40% de sólidos. Esta diferencia establece que el porcentaje bajo de sólidos en la resina fenólica, caso del RESIFEN 4429 y 4439, no sea el óptimo para que un elemento laminado sea garantizado al pasar el tiempo, a la exposición de los esfuerzos estructurales y agentes atmosféricos, que son en definitiva los parámetros definitorios de la verdadera calidad del elemento laminado.

II.- CONSIDERACIONES FINALES.

La madera laminada, puede resistir muchas décadas si se cumplen todos los requerimientos técnicos de los cálculos estructurales, los controles de calidad en la elaboración de los elementos, la calidad de sus uniones, seguridad en el proceso de montaje, un buen cuidado de la estructura con un frecuente mantenimiento, pero muy especialmente la designación apropiada, aplicación y calidad del fraguado del adhesivo que conformará el futuro elemento laminado.

En la actualidad se están utilizando para la elaboración de elementos estructurales de madera laminada, adhesivos de resinas sintéticas con fraguado en frío y químicamente neutras, que han probado un nivel de resistencia, estabilidad y duración en el tiempo. En este sentido, los autores están promocionando ante la empresa venezolana RESIMON C.A., la urgente

necesidad de adelantar investigaciones en la elaboración de adhesivos fenólicos de fraguado a temperatura ambiente, a fin de que cuando se fomente la instauración de industrias fabricantes de estos productos laminados, podamos estar al nivel de las exigencias industriales y evitar la clara dependencia que tenemos en la actualidad de estos productos foraneos.

Los investigadores en madera laminada, han recurrido a la mezcla del fenol formaldehído con nuevas resinas como el resorcinol, donde se abocaron a la búsqueda por hacerlas competitivas respecto al mismo fenol formaldehído, afin de que el precio del adhesivo no repercutiera de forma significativa en el costo por metro cúbico del elemento laminado, y lo más importante, que estas no pierdan sus propiedades de resistencia mecánica.

En este sentido OCEANO/CENTRUM (1994), expone que los adhesivos a base de resorcinol - fenol - formaldehído, son hoy en día las idóneas para la formación de estructuras laminadas, y que solo este tipo de adhesivos están homologadas para resistir los grandes esfuerzos a los que se sometan. Su resistencia no sólo tiene que ser de cara a los esfuerzos, sino también en condiciones ambientales extremas: ataque de insectos, hongos, químicos e intemperie.

Nó se puede olvidar que todos los esfuerzos a los que están sometidos los elementos estructurales laminados una vez puestos en servicio, recaen en último termino para ser soportados, en el adhesivo, por lo que el único problema que podemos plantearnos es el de la fatiga del adhesivo. Se ha determinado que en la actualidad este fenómeno no es determinante, ya que se ha demostrado que algunos de los primeros fallos ocurridos en una viga laminada sometida a esfuerzos, eran imputables al diseño arquitectónico, más que a la calidad de las líneas de cola, o del mismo adhesivo y por última consideración a la calidad de la madera utilizada.

En definitiva la madera laminada representa en un futuro cercano para Venezuela y su gremio de arquitectos e ingenieros, una posibilidad inmensa de recursos técnicos y formales, así como la generación de un cambio de paradigmas de la forma de construir de los venezolanos, porque la madera representa el material constructivo alternativo de mayor consistencia en los criterios de sustentabilidad en el tiempo, y la madera laminada con todos sus recursos de calidad estructural y belleza, se colocará y estará siempre presente en la búsqueda creativa de todo hacedor de edificaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. AITIM. 1993. Canadá Edición Especial. N° 162. Enero - Febrero. Madrid - España.
2. CONTRERAS M. WILVER y OWEN DE C. MARY. 1999. Elaboración de un elemento laminado, tipo Parallam, con titas de Caña Brava *Gynerium sagittatum*, y adhesivo fenol formaldehído. Revista Forestal Venezolana. 41(1)1997:29 - 26.
3. CHUGG, W. A. 1964. GLULAM. Londres. Inglaterra.
4. GOMBEN, R. & GORMAN, T. 1994. Treatability of lodgepole pine laminated veneer lumber. Frest Product Journal. 44(2): 39 - 41.
5. INFOR. 1987. Clasificación estructural del pino Radiata destinado a Madera Laminada. Informe técnico N° 108 Santiago de Chile. Chile.
6. KIMMEL J., JANOWIAK J., BAILEYS R. & MERRICK P. 1994. Characteristics of creosote - treated LVL materials Forest Prod. J. Mayo. 44(5): 49 - 53.
7. LAMBUTH, ALAN L. 1977. Bonding Tropical hardwoods with phenolic adhesive. Actas de la reunión IUFRO S5.04 y P5.01. LABONAC. Mérida. Venezuela.
8. OCEANO/CENTRUM .(1994).Sistemas estructurales de Madera. Biblioteca
9. ATRIUM de la construcción. Editorial OCEANO/CENTRUM. Tomo I : 92.
10. NORDSTROM, J. 1995. Bending strength of spruce end - grain butt - joints using RF - based adhesive. Forest products Society. June. 45(6): 77-83.
11. RESIMON, C.A. 1994. Boletín Técnico Provicional. Mes de Julio. Valencia. Venezuela.
12. RIVERA, ADOLFO. 1994. Adhesivos o colas para maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela.

13. SCHAFFER, E. L., R.W. JOKERST., R.C. MOODY, C.C. PETERS, J.L.
14. TSHERNITZ & J.J. ZAHN. 1972. Feasibility of producing a high Yield laminated structural product: general summary. Res.Pap.F.P.L. 175 USDA. Forest Serv, Forest Products Lab., Madison. Wis.
15. SLOOTEN, H.J. 1964. Investigaciones realizadas sobre las colas Fenol - Formaldehído. LABONAC, Mérida. Venezuela.
16. SINGH, J. & ENCINAS, O. 1992. Tratamiento de la madera de Pino Caribe con Sales CCA e ignifugas. Rev. For. Latinoamericana. 10/92. 71- 85.
17. TSCHERNITZ, J.L., V.P. MINIUTTI & E.L. SCHAFFER. 1974. Treatability of coast Douglas - Fir Press - lam. In: Proc. American Wood - Preserves Assoc. 70: 189 - 205. AWPA.Philadelphia, Pa.
18. YOUNGQUIST. J. 1979. Desing, fabrication, testing and instalation of a Press - lam. Bridge Res.Pap.FPL - 332. USDA. Forest Serv. Forest. Prod. Lab. Madison. Wis. 19 pp.

