

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS LINEAS DE COLA DE ISOCIANATO EN VIGAS LAMINADAS DE *PINO CARIBE (VAR. HONDURENSIS)* PRESERVADO CON SALES CCA.

Wilver Contreras Miranda¹, Eric Barrios², Mary Owen de C.³, Osvaldo Encinas⁴

¹ Arq. MSc. Prof. Diseño Edificaciones y Muebles con Madera. Área de Diseño Industrial y Arquitectura de Productos, edificaciones y muebles del CEFAP – LNPF – ULA. Estudiante de Doctorado de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, España. Email: wilconmi@doctor.upv.es

² Ing.Ind.For.MSc. Prof. Estructuras con Madera, Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG).

³ Arq. MSc. Prof. Tecnología. Escuela de Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura y Arte (EDI-FAAULA). Estudiante de Doctorado de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, España. Email: marowde@doctor.upv.es

⁴ Ing.For..MSc. Dr. Profesor Secado y Preservación. Sección Conservación de Madera LNPF – MARN - ULA. Colaborador con el préstamo de equipos de la Sección de Conservación de la Madera del LNPF – ULA – MARN.

RESUMEN

El pino caribe de la Orinoquía puede ser empleada para la fabricación de elementos estructurales de madera laminada con adhesivo isocianato (MDI). La empresa Kondor C.A. instaló la primera planta en Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. Su comercialización requiere producir elementos garantizados y de alta calidad estructural en el tiempo. Se evalúa la calidad de las líneas de cola empleando la metodología de ensayos de delaminación cíclica y de cizallamiento, según las normas ASTM para madera laminada. Se determinó preliminarmente su calidad y resistencia estructural. Los resultados del ensayo de delaminación cíclica indicaron que la madera adulta tuvo menores delaminaciones que la madera juvenil. Cuando existió la mezcla entre las dos maderas, arrojó la mayor proporción de delaminación. En los ensayos de resistencia al cizallamiento la madera adulta dio valores de resistencia más altos respecto a los de madera sólida, seguida por la madera juvenil, y la mezcla de la madera juvenil-adulta. El porcentaje de falla fue mayor en la madera que sobre la línea de cola evidenciando un buen enlace específico de la misma. El tipo de madera influye directamente sobre la resistencia de las líneas de cola por las grandes tensiones internas. Se recomienda que el uso de estos elementos deben ser destinados solo para espacios internos.

Palabras claves: Madera laminada, pino caribe (*Var. Hondurensis*), isocianato, sales CCA, normas ASTM.

ABSTRACT

The Caribbean pine from Orinoquía can be used for structural elements making from laminated timber with isocyanate adhesive (MDI). The Kondor, C.A. Company installed the first plant in Puerto Ordaz, State of Bolívar, Venezuela. Its commercialization requires to produce guaranteed elements of high structural quality in time. This study evaluates glue line quality using cyclic delamination and shearing methodology according to ASTM Norms for laminated timber. Quality and structural resistance were preliminarily determined. Cyclic delamination test results indicated that hardwood had minor delaminations than sapwood. When existing mix between the two woods, produced a higher rate of delamination. In resistance to shearing tests, heartwood gave resistance values higher than those of the solid wood, followed by sapwood and sapwood – heartwood mix. Fail percentage was higher in the wood showing a good specific link. The type of wood directly influences on glue line resistance by higher inner tensions. It is recommended that the use of these elements must be for only indoor spaces.

Key words: Laminated timber, Caribbean pine (*Var. Hondurensis*), isocyanate, CCA salts, ASTM Norms.

INTRODUCCIÓN

En muchos países europeos y en los Estados Unidos la madera laminada ha tenido considerable aceptación para la construcción de iglesias, supermercados, gimnasios, teatros, salas de cine, hangares, garajes, fábricas y escuelas. Las construcciones de madera laminada son apropiadas en cualquier sitio

donde se desee grandes espacios libres (Rodríguez y Ramírez, 1964).

Por tales razones en las últimas décadas, a fin de garantizar el éxito de comercialización de estos productos, la industria de la madera laminada a experi-

mentado y desarrollado métodos de evaluación confiables para determinar la calidad y estabilidad estructural de los elementos laminados una vez puestos en obra, y sometidos a las más diversas condiciones de variabilidad ambiental. Uno de los factores más importantes que garantizan el éxito y confiabilidad del proceso de fabricación de los productos de madera laminada, es la evaluación de la calidad de las líneas de cola, por todas las implicaciones técnicas que determinan una relación armónica que debe existir entre el material madera, las sustancias preservantes y el adhesivo.

Cuando se fabrican elementos laminados hay que emplear adhesivos según la clasificación de alta resistencia. La más mínima delaminación de la línea de cola, aunque sea solamente de unas pocas décimas de milímetros, permite la entrada de agua y favorece que la delaminación se agrave, además es posible o probable que a largo plazo aparezca una degradación por pudrición, siempre y cuando la madera no este tratada adecuadamente (Jordahl, 1996).

Por tales razones técnicas, una especie en particular puede producir diferencias de resistencia en una línea de cola empleando varias clases de adhesivos estructurales. De igual forma influye la cantidad y porcentaje de madera temprana, tardía, albura y duramen, que pueden influenciar en la resistencia de la junta encolada (Barrios et al, 1999). Las bandas de madera "blanda" como por ejemplo albura y madera temprana, usualmente se encolan más fácilmente que las bandas de madera más densa como por ejemplo el duramen y la madera tardía. En general una alta densidad en la madera implica más dificultades para el encolado.

En este sentido, muchas especies de madera exudan aceites naturales y resinas, las cuales pueden requerir un pre-tratamiento con químicos tales como soda cáustica, detergentes o solventes antes que el encolado sea hecho. El coeficiente de contracción por unidad disminuye con un aumento en el contenido

de humedad y este a su vez varia con la especie, es por ello que los adhesivos que producen líneas de cola durables con algunas maderas bajo condiciones de humedad fluctuante, son incapaces de reproducirlo en otra (FPL, 1987).

El mismo autor expone que muchas de las variabilidades de la madera no pueden ser eliminadas sin un alto grado de selección, lo cual podría hacer del encolado de la madera anti-económico. Esto quiere decir que la madera temprana, tardía, juvenil, adulta, albura y duramen, todas, son encoladas juntas y esto explica el porque las secciones cortadas de la misma viga y misma línea de cola varían considerablemente en el esfuerzo al cizallamiento y delaminación.

Por consiguiente, se debe considerar como esencial la variabilidad de la madera y su influencia en las técnicas de encolado, las cuales pueden ser cuidadosamente controladas a fin de obtener juntas de máxima resistencia y durabilidad. El material de madera de pino caribe (*Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*) de la Orinoquia empleado para la elaboración de las vigas laminadas evaluadas en esta investigación, presenta una gran variabilidad en su estructura anatómica, ya que tiene dos tipos de madera, como lo es la madera juvenil y la madera adulta, que entre sí producen grandes tensiones internas, así como también verticilos de nudos, bolsas de resina, etc.

La calidad de la madera laminada radica fundamentalmente en el comportamiento de la línea de cola, el cual depende principalmente de la resistencia del adhesivo, pero también y hasta cierto punto de la aptitud del adhesivo para soportar las grandes tensiones producidas por los movimientos de la madera originados por su humidificación y desecación (Jordahl, 1996).

En tal sentido el adhesivo debe ser fuerte, rígido y bastante durable para permitir a los compuestos de madera soportar cargas estructurales de larga dura-

ción ocasionalmente bajo condiciones severas de servicio (Vick, 1984).

En los actuales momentos, el proceso de globalización económica y el aumento de una mayor conciencia ambiental en la población mundial gestada en los últimos años, ha generado cambios en la perspectiva de uso de los adhesivos tradicionalmente empleados por la industria fabricante de productos de madera laminada como es el caso del fenol – formaldehído, resorcinol, melamina, etc. Expone Vick (1984), que desde el punto de vista económico el costo del adhesivo, equipos y energía necesaria para hacer fraguar el adhesivo son de alta consideración a la hora de escogerlo.

Es por ello que la industria ha mostrado interés en el uso de la resina de isocianato como adhesivo en vez de usar resinas a base de formaldehído. Este interés proviene de un deseo de reducir la cantidad de emisiones de formaldehído de sus productos, por su fraguado rápido a temperatura y por ser una resina incolora, lo cual permite reducir costos para utilizar, desarrollar nuevos productos más resistentes y más durables (Milota y Wilson, 1985).

Otra de las cualidades más favorables usualmente citadas para el isocianato, es que pueden ser usados en el proceso de manufactura en un amplio rango de contenido de humedad, lo cual lo hace mucho superior a los adhesivos fenólicos (Johns, 1982).

En estudios realizados por Vick (1984), donde utilizó una emulsión de adhesivo de polímero de isocianato a fin de evaluar su resistencia a la humedad, pudo observar que un año de directa exposición al agua aparenta ser el límite para este tipo de emulsión y que con un porcentaje mayor de isocianato, puede esperarse que sea más resistente. Pero lo más importante es que pudo apreciar que la resina de fenol - resorcinol fue significativamente más fuerte y más durable que la emulsión de isocianato en condiciones húmedas.

Al respecto otros autores como Schneider y Phillips (1995), dicen que el isocianato da menores resultados de cizallamiento y mayores delaminaciones que las resinas de uso más antiguo como lo son las fenólicas, al parecer solo son buenas en condiciones de uso interior y por su nulo contenido de formaldehído. De igual forma Barrios y colaboradores (1999), reafirmaron la experiencia de los autores antes mencionados.

A pesar de que los isocianatos y polisocianatos (MDI) fueron lanzados al mercado en la década de los cuarenta especialmente para ser empleados por la industria siderúrgica, vidrio y porcelanas (Kollmann, 1959), es que los fabricantes de adhesivos, recientemente están promoviendo gran cantidad de este tipo de productos con sus más diversas características técnicas y de resistencia para la elaboración de productos derivados de madera.

Pero también es cierto que por la falta de precisiones científicas de la verdadera resistencia de los MDI a las severas condiciones externas, existe dentro del gremio de profesionales de la tecnología de los productos forestales, una urgente necesidad para determinar la capacidad de estos nuevos adhesivos, ya que su potencial para manufacturar nuevos productos de madera en la industria debe ser técnicamente probado.

De manera que la realización del presente trabajo es importante por varias razones primero, permite evaluar científica y tecnológicamente las vigas laminadas elaboradas por la Empresa Kondor C.A. de la Corporación Forestal Uverito, ubicada en la Zona Industrial de Matanzas, Ciudad de Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. Esto contribuye por medio del empleo de la metodología de ensayos de delaminación cíclica y de cizallamiento, según las normas americanas ASTM para madera laminada, el poder determinar de forma preliminar su calidad y resistencia estructural como producto forestal a ser sometido a los exigentes esfuerzos de cizallamiento y durabilidad de la línea de cola.

Segundo, Venezuela es un país donde el uso de la madera sólida para fines estructurales ha sido muy limitado, y hasta casi nulo el conocimiento respecto a la tecnología de la madera laminada, lo que ha permitido en años anteriores experiencias comerciales nada gratificantes donde se ha empleado esta técnica en varias construcciones residenciales hechas en algunas partes del país.

Por los antecedentes expuestos, permitiría certificar y publicitar los productos de madera laminada, que de cumplir con las normas consultadas, sería seguro estructuralmente en el tiempo y estable dimensionalmente, al ser sometido a las diferentes exigencias de cargas, así como las variables condiciones climáticas de la geografía venezolana, trayendo con ello un producto comercialmente confiable para ser usado por los profesionales de la arquitectura e ingeniería en la elaboración de infinidad de proyectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se visitó la fábrica de madera laminada de la Empresa Kondor C.A., aún en proceso de instalación, la cual se encuentra ubicada en la Zona Industrial Matanzas de la ciudad de Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. Las vigas laminadas fueron realizadas con seis elementos de 4500 cm x 15 cm x 2,5 cm de pino caribe preservados con sales CCA a una retención de 9 Kg./m³, secados en estufa, sometidas a un proceso de labrado mecanizado y finger joint, siendo luego encoladas con brocha de mano con resina de isocianato JOWATO 48560 de la empresa alemana JAWA. Se sometieron durante dos horas a una presión uniforme de aproximadamente 15 kg/cm², en una prensa hidráulica de fabricación alemana.

Se seleccionaron de forma aleatoria dos vigas de dimensiones 4500 cm x 15 cm x 15 cm. De la parte media de cada una de las vigas laminadas se obtuvieron dos módulos de 150 cm x 15 cm x 15 cm. Para determinar la calidad de las líneas de cola de

las vigas de madera laminada se emplearon las normas americanas ASTM D-905-89 que determinan la metodología para la realización de los ensayos de resistencia al cizallamiento y la ASTM D-1101-89 para el ensayo de delaminación cíclica.

Los módulos obtenidos fueron trasladados hasta las instalaciones del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF – MARN - ULA), Mérida, Venezuela. Según las recomendaciones de las normas se seccionaron los módulos en pequeños listones para sacar las probetas de cada uno de los ensayos de delaminación cíclica y cizallamiento respectivamente. Se obtuvieron para delaminación cíclica 52 probetas de 7,5 cm x 7 cm x 6,8 cm y para el ensayo de cizallamiento se obtuvieron similarmente 52 probetas pero con dimensiones de 5 cm x 5 cm x 7 cm.

Para el ensayo de delaminación las probetas se ensayaron inmediatamente después de obtenidas, no siendo así para el ensayo de cizallamiento, ya que la norma exige que fueran acondicionadas a un contenido de humedad del 12 %.

Se analizó en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, la ultra estructura de la madera en las probetas ensayadas, específicamente en las adyacencias de la línea de cola. Se determinó además por el método de difracción de rayos X, la cantidad de cobre, cromo y arsénico de la madera preservada a fin de saber con precisión el porcentaje de cada uno de estos elementos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1- ENSAYOS DE DELAMINACIÓN CÍCLICA.

De un total de 52 probetas que fueron sometidas al ensayo de delaminación cíclica, se observó que un 84,6 %, 88,5 % y 98,1 % de las probetas presentaron más del 50 % de delaminación en el primer, segundo y tercer ciclo de la prueba respectivamente.

te, es decir, más de la mitad de las probetas no cumplieron con lo exigido por la Norma ASTM-1101 método A.

Los resultados de las probetas delaminadas que se obtuvieron para cada ciclo de delaminación fueron 66,13% para el primer ciclo, 73,84% para el segundo y 83,54% para el tercero, pudiéndose apreciar y confirmar que en el primer ciclo de delaminación más de la mitad de las probetas se delaminaron sin cumplir con la norma.

El error estándar para la media del primer, segundo y tercer ciclo fueron de 3,16; 2,94 y 1,99; respectivamente. Por ser un valor bajo, indica que existió precisión en la toma de datos para la evaluación estadística.

Se determinó el coeficiente de variación para cada uno de los ciclos: 22,76 %, 21,21 % y 14,37 %. Estos valores reflejan que existió una variabilidad en la delaminación de las muestras.

Se presume que uno de los factores que pudieron generar esta alta tasa de delaminación, fueron las contracciones que se producen en el pino caribe al ser humedecidas y secadas alternativamente. Además, otro factor importante fue la falta de un buen control de calidad en el proceso de fabricación de las vigas laminadas para tratar de eliminar los defectos naturales de la madera del pino caribe (nudos, algunas grietas y depósitos de resinas). Lo antes expuesto es producto de que no se realizó satisfactoriamente de una manera adecuada el método de «finger joint», esto debido a que las piezas de madera presentaban una gran cantidad de nudos. Es importante acotar que este método es para eliminar el mayor porcentaje de nudos de forma tal que permita obtener un miembro tan parecido en resistencia o con mayor resistencia que la madera natural libre de defectos.

En el ANAVAR con un nivel de significancia del 95%. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas entre los tres ciclos de

delaminación con respecto al tipo de madera (madera adulta, madera juvenil-adulta y madera juvenil). Por lo tanto no amerita evaluarlas.

A pesar de que el ANAVAR dio no significativo se pudo observar que la madera adulta tuvo menores delaminaciones que la madera juvenil. Cuando existió la mezcla entre la madera juvenil y madera adulta, se determinó la mayor proporción de delaminación. Esto ocurrió en mayor proporción en el primer ciclo (Figura 1), siendo menor esta diferencia en el segundo ciclo (Figura 2) y casi lineal en el tercer ciclo (Figura 3), teniendo la menor delaminación la madera adulta, seguida por la madera juvenil y por último la que más delaminación presentó la mezcla de juvenil - adulta. Esta diferencia es ocasionada por las diferencias anatómicas de las maderas dentro del pino caribe, lo que ocasiona mayor inestabilidad dimensional, y por ende, mayores tensiones internas en las líneas de cola sobrepasando los esfuerzos propios de diseño de la resina y facilitando a su vez el proceso de delaminación. Esto afecta tanto a las líneas de cola en los planos horizontales como verticales de los «finger joint».

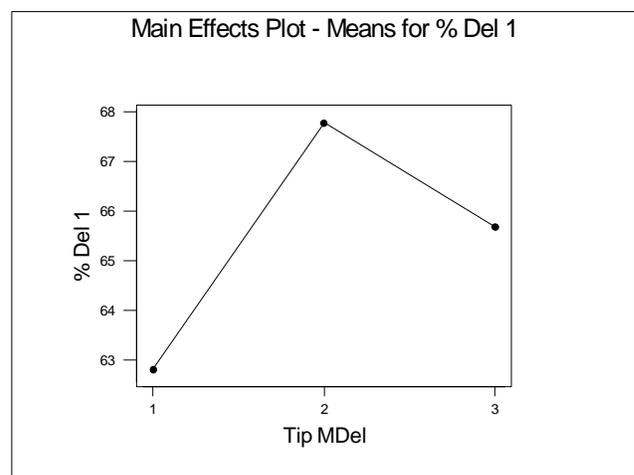


Figura 1. Efectos de media para el primer período de delaminación

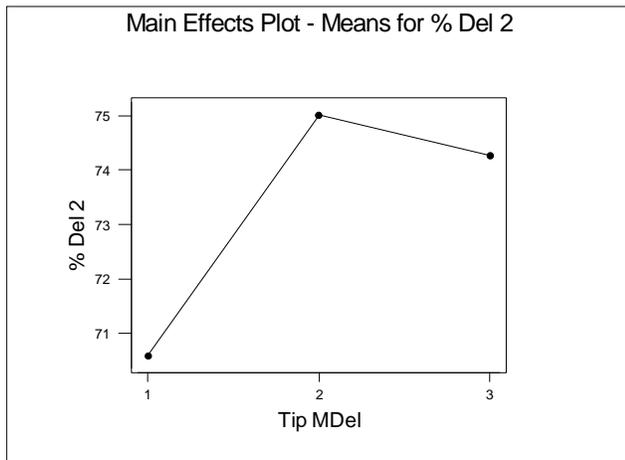


Figura 2. Efectos de media para el segundo período de delaminación.

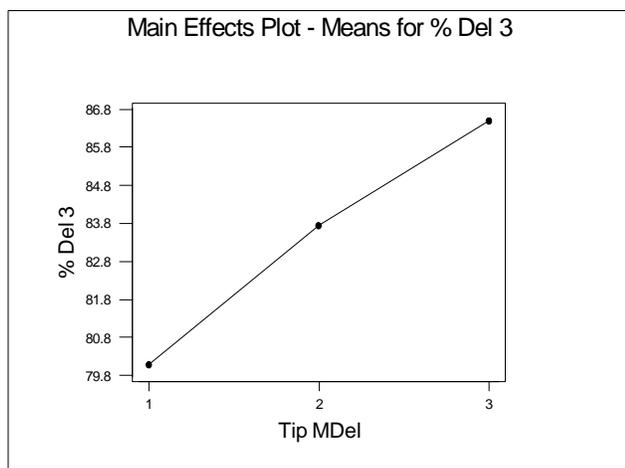


Figura 3. Efectos de media para el tercer período de delaminación.

2.- Ensayos de Resistencia al Cizallamiento.

De un total de 60 probetas que fueron sometidas al ensayo de cizallamiento, se obtuvo que el 88,3 % de las probetas ensayadas arrojaron un valor de resistencia mayor al 90% de la resistencia de la madera de pino caribe (92Kg/cm²) a 2070 Kg.

Se obtuvo una media de 2586 Kg (103,5 Kg/cm²), que como se puede apreciar es mayor que la resistencia tabulada del pino caribe de 2070 Kg.

El error estándar fue de 59,1. Este valor es un poco

alto, lo cual indica que hubo gran variabilidad en la madera.

El coeficiente de variación fue de 457,6 Kg., lo cual refleja que existió una gran variabilidad en la resistencia de las muestras.

Los resultados del ANAVAR con un nivel de significancia del 95% arrojaron los resultados con un alto nivel de significancia para la variable Tipo de madera (**), por lo tanto existen diferencias entre la madera adulta, madera juvenil-adulta y madera juvenil. Aplicando Tukey se pudo observar que los tipos de madera juvenil-adulta y madera juvenil se comportaron estadísticamente iguales, siendo la madera adulta la que arrojó valores de resistencia más altos de 2990 Kg., seguida por la madera juvenil (2450 Kg) y por último la mezcla de la madera juvenil-adulta (2400 Kg.) (Figura 4).

Se puede inferir que el tipo de madera influye directamente sobre la resistencia de las líneas de cola por las grandes tensiones internas producidas en la madera, pero en condiciones estables de humedad y espacios interiores, estos factores adversos pudieran verse disminuidos.

3.- EVALUACIÓN DE LA FALLA DE LA MADERA.

De un total de 60 probetas que fueron sometidas al ensayo de cizallamiento, se obtuvo una media de falla del 82.82 %, es decir, la mayor cantidad de falla fue debido a la madera y no al adhesivo.

Se obtuvo un error estándar de 3,3 y un coeficiente de variación de 25,6 Kg. Indicando que los datos proporcionaron valores adecuados.

El ANAVAR con un nivel de significancia del 95% para la variable tipo de madera, arrojó resultados con un alto nivel de significancia. Por lo que se considera que existieron diferencias dentro de esta variable respecto a la falla entre los tres tipos de madera.

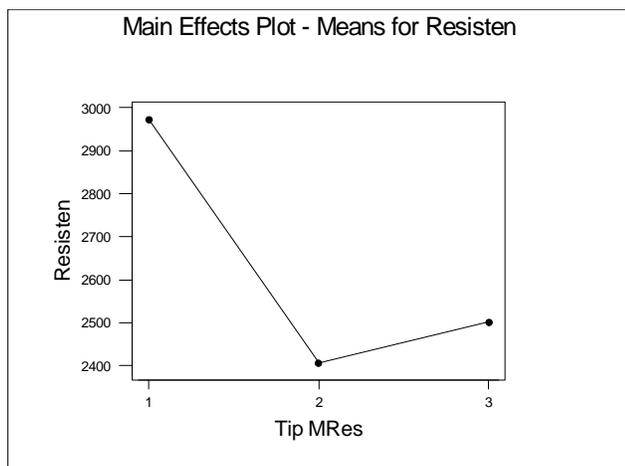


Figura 4. Efectos de media para la resistencia.

Al evaluar las fotografías obtenidas en el microscopio electrónico de barrido, se pudo apreciar que existió una uniformidad de la línea de cola de isocianato en las probetas ensayadas (Figura 5). Se observó un pequeño aplastamiento en las primeras células de interfase de las líneas de cola, así como una penetración uniforme dentro de las tres a cuatro primeras células, y en forma aislada residuos de isocianato a partir de la quinta célula (Figura 6). A pesar de que hubo una poca penetración del adhesivo en las células del pino caribe, los resultados obtenidos respecto a falla indicaron que el mayor porcentaje de falla fue debido a la madera y a la línea de cola, esto se debió principalmente a que existió un buen enlace específico entre el isocianato y la madera, lo cual es una de las propiedades del isocianato que reacciona con los radicales libres (OH) de la madera.

CONCLUSIÓN

La presente evaluación de la calidad de las líneas de cola de isocianato (MDI) con pino caribe y la posible influencia de las sales CCA en las propiedades de adherencia, determinó que por todas las características de los bajos resultados obtenidos en el ensayo de delaminación cíclica de la Norma

ASTM D-1101-89, se recomienda que la resina MDI al ser empleada con madera de pino caribe preservada con sales CCA, no sea empleada bajo condiciones de humedad relativa demasiado alta y muy variables, siendo recomendable su uso en espacios internos, no sometida a la inclemencia del medio tropical a fin de evitar contratiempos y pérdidas económicas por la disminución de sus propiedades mecánicas y su estabilidad estructural en el tiempo de las edificaciones donde sea empleada.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIOS E., O. ENCINAS y W. CONTRERAS. 1999. Evaluación del efecto de las sales CCA sobre la línea de cola en probetas hechas con pino caribe, utilizando resina fenol – formaldehído e isocianato. Revista Forestal Venezolana. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 44(1):17 – 26.
- FPL. 1987. Wood Handbook: woods as an engineering material. Forest Product Laboratory (FPL). Department of agriculture. Agric. Hanb. 72. Washington DC, U. S.
- RODRÍGUEZ N. y H. RAMÍREZ. 1964. Estudio experimental de una viga rectangular de madera laminada encolada. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Mérida.
- JORDAHL, A. 1996. Structural glued laminated timber: History of its origins and early development. Forest Products Journal. 46(1): 15-22.
- MILOTA, M. y J. WILSON. 1995. Isocyanate-polyol resin as a binder for particleboard. Forest Products Journal. (7/8): 44 8.
- VICK, C. 1984. An emulsion polymer/isocyanate adhesive for laminating composite lumber. Forest Products Journal. 34(9): 27-34.
- JOHNS, W. 1982. Isocyanate bonded aspen flakeboard. Forest Products Journal. 32(11/12): 47-50.
- KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, España.

SCHNEIDER M. Y J. PHILLIPS. 1995. Testing for selected glues for wood polymer composites in dry and wet use. *Wood and Fiber Science*. 27(4): 342-345.