

EVALUACIÓN DE UNIONES EN TABLEROS CONTRACHAPADOS DE MADERA DE PINO CARIBE UNIDOS POR MATERIAL RECICLADO DE POLIETILENO Y POLIURETANO TERMO FUNDIDO

*Evaluation of joints in plywood caribbean pine wood joined with
recycled polyethylene and polyurethane thermo melted*

WILVER CONTRERAS MIRANDA Y MARÍA TERESA RONDÓN SULBARÁN

Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño. Mérida, Venezuela. E-mail: wilvercontrerasmiranda@yahoo.es mariat@ula.ve

Recibido Octubre 2016. Aceptado Diciembre 2016

Resumen

El mundo actual cada día está procurando establecer los principios del Desarrollo Sostenible, estrategia internacional para garantizar la vida en el planeta en plena armonía con la naturaleza. Una de las actividades antrópicas negativas es la generación de residuos sólidos y orgánicos del medio urbano, rural o agroindustrial. El Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño (ULA:UPV), ha venido desarrollando a partir del ecodiseño, productos semi industriales que en su concepción ecoinnovadora generan materiales para cerramientos, mobiliarios y artesanías diversas.

Se desarrollan los ensayos de cizallamiento y delaminación cíclica a tableros contrachapados experimentales realizados con chapas de madera de pino caribe unidos por material reciclado de polietileno y poliuretano termo fundido, que al ser evaluadas sus uniones con los ensayos de cizallamiento y delaminación cíclica, además del comportamiento al tacto, impacto manual, estética y procesos de manufactura, resultaron ser resistentes y de buena calidad, permitiendo la posibilidad de ser usados para cerramientos internos, externos, muebles y artesanías. Se demuestra la factibilidad de realizar otras mezclas de materiales orgánicos y plásticos para la elaboración de múltiples tableros, debido que los materiales empleados, devenidos de procesos de reciclaje y reutilización, implementando el proceso de presión calor, consolidan juntas resistentes a los esfuerzos especialmente en ambientes secos y semi húmedos. Cuando las condiciones de humedad son extremas, requieren aplicarles sustancias aislantes o cobertura total del tablero con plástico transparente termo fundido como acabado superficial.

Palabras clave: Tableros contrachapados, material de reciclaje y reutilización, Desarrollo Sostenible, industria forestal venezolana, ecoinnovación.

Abstract

Plywood experimental shear tests and cyclic delamination boards made with wood veneers caribbean pine joined by recycled polyethylene and polyurethane material developed thermo melt, which when evaluated their connections with shear tests and cyclic delamination also behavioral touch, manual impact, aesthetics and manufacturing processes, proved to be resilient and good quality, allowing the possibility of being used for internal, external, walls, furniture and crafts. The feasibility of other mixtures of organic materials and plastics for the production of multiple boards, because the materials used, transformed process of recycling and reuse, implementing the pressing process heat, consolidate resistant joints efforts especially in environments shows dry and semi humid. When moisture conditions are extreme, apply insulating materials or require full coverage of the board with clear plastic thermos cast as surface finish.

Key words: Plywood, material recycling and reuse, Sustainable Development, Venezuelan forestry industry, eco-innovation.

1. Introducción

En el contexto de la ecoinnovación el Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño (LS&E:ULA-UPV) de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, creado en convenio con la Universidad Politécnica de Valencia, España, creó la línea del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), que involucra la Ecología Industrial para el desarrollo de proyectos de ecodiseño, ecoeficiencia y diseño de polígonos ecoindustriales bajo los requerimientos de las normas de gestión ambiental.

En ese sentido, abordar el proceso de generación de productos industriales sostenibles, ha sido uno de sus nortes. De ahí que la línea de investigación en el reciclaje y reutilización de desechos urbanos, rurales y agroindustriales, sea una de sus principales fortalezas, la cual ha devenido de la propuesta de Contreras *et al* (2015) con su *Modelo de Ecodiseño, Sistémico e Interactivo de Sostenibilidad para la Interrelación de Factores Antrópicos y Medioambientales en un Territorio*.

En esta ocasión, y tomando en consideración lo antes expuesto, al haber desarrollado con éxito el proyecto experimental toda una serie de nuevos productos ecoinnovadores a partir del reciclaje y reutilización de materiales urbanos, rurales y agroindustriales en Venezuela, con sus debidos ensayos preliminares en la sede del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF) de la Universidad de Los Andes, el cual es una de las adscripciones del LS&E:ULA-UPV, se exponen en el presente trabajo los excelentes resultados con el debido cumplimiento a los requerimientos de las normas consultadas COVENIN 2718-90 (1.990) y ASTM: D-1101-89, las cuales permitieron la evaluación

Evaluación de uniones en tableros contrachapados con pino y material reciclado de uniones en tableros contrachapados de madera de pino caribe unidos por material reciclado de polietileno y poliuretano termo fundido.

Por consiguiente, es oportunidad que amplía horizontes para continuar la senda en seguir desarrollando y demostrando la factibilidad de elaborar productos, donde el ecodiseño es la metodología que guía el camino que permite hacer posible productos industriales sostenibles, pero en especial la creación de micros y pequeñas industrias en el contexto urbano de las ciudades venezolanas y latinoamericanas que podrían ofertar productos ecológicos de calidad y buena resistencia para la elaboración de cerramientos en espacios interiores, muebles y artesanías.

2. Materiales y métodos

Se seleccionaron de forma aleatoria chapas de pino caribe, calidad III para la elaboración de los tableros de tres capas, utilizando como elemento de unión diferentes tipos de materiales plásticos provenientes de proceso de reciclaje del medio urbano de la ciudad de Mérida, estado Mérida, tales como: polietileno de alta densidad (PEHD) color negro, correspondiente a plástico de embalaje; polietileno de baja densidad (PEBD) transparente, correspondiente a bolsas plásticas; polietileno de baja densidad (PEBD) color amarillo, correspondiente a bolsas plásticas; y poliuretano de baja densidad (PUBD) color negro, correspondiente a bolsas plásticas.

La Figura 1 expone el proceso de manufactura semi industrial de los tableros, similar procedimiento para la elaboración de los tableros experimentales realizado en tamaños de 25 cm X 25 cm. Se hicieron pruebas experimentales con cada uno de los tipos de plásticos PEBD, PEHD y PUBD provenientes de los supermercados y bodegas populares a las mismas condiciones de temperatura con rango entre los 160 °C a 170 °C; tiempo promedio de 5 minutos; presión de 10.000 lb/cm²; y contenido de humedad de las chapas con promedio de CH: 12 %. Después de 5 réplicas experimentales de tableros elaborados por cada tipo de condición y bajo similares condiciones procedimentales, se pudo determinar la confiabilidad para pasar a la manufactura de los tableros definitivos, los cuales presentaron excelente comportamiento en consistencia al tacto y manipulación física. Una vez realizados los tableros se procedió a la realización de los ensayos de cizallamiento según la norma COVENIN 2718-90 (1 990) y delaminación cíclica con la norma ASTM D-1101-89.

2.1. Ensayos de Cizallamiento

Abordar el apartado metodológico de la definición, manufactura y ensayos de los tableros que motivan la presente investigación y que fue realizada en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), Mérida, Venezuela, permite resaltar que el proceso de ecoinnovación desarrollado en la propuesta de realización de tableros

contrachapados de chapas de madera de pino caribe (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*) unidos por presión y termo fusión con material reciclado de plástico polietileno (PE), proveniente del uso de bolsas de supermercado y envolturas diversas, difiere de los requerimientos técnicos propuestos por la norma COVENIN 2718-90 (1990) para tableros contrachapados. Esto es en razón de que la norma ha sido elaborada fundamentalmente para productos lignocelulósicos (madera o gramíneas, entre otros materiales orgánicos), que aplicándoles presión a medio ambiente o por calor, son unidos por medio de adhesivos naturales o sintéticos de base mayormente plástica polimérica simple o compleja.

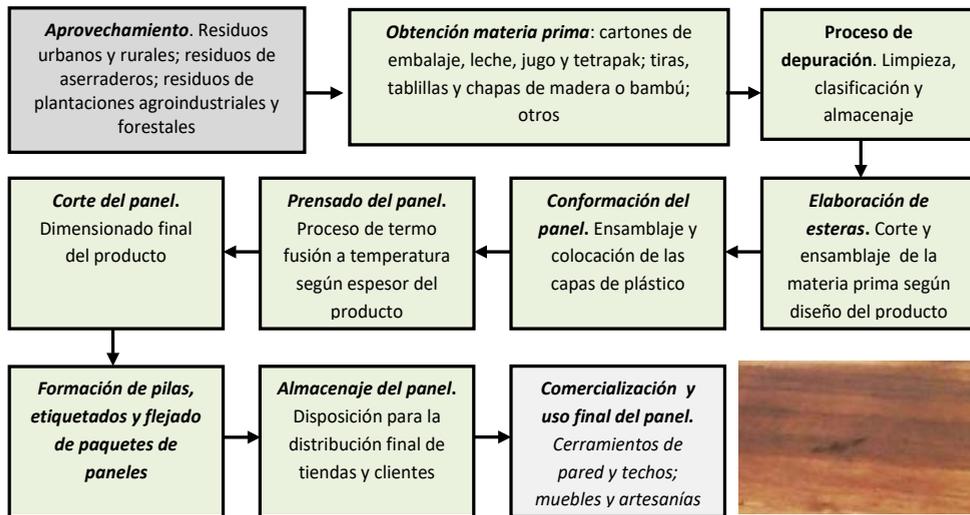


Figura 1. Proceso técnico de manufactura tableros contrachapados de chapas de madera de pino Caribe y plástico polietileno (PEBD) termo fundido. Fuente: Elaboración propia

En ese sentido, interpretando a Quiminet (2016) se entiende por adhesivo aquellas sustancias capaces de mantener unidas de manera segura y resistente las chapas, tablas o tablones, entre otros, para que una vez puestas en uso tengan buena resistencia ante los agentes ambientales, mecánicos o físicos; agregándose aditivos especiales para mejorar sus propiedades, en especial las mecánicas, y catalizadores, para acelerar su fraguado sin disminuir sus propiedades de adhesión. La presente investigación procura dentro de las estrategias del ecodiseño hacer uso de chapas de segunda para conformar el alma del tablero, las cuales son provenientes del proceso de corte en trancha de las rolas de pino Caribe, sin dejar de lado el proceso de desenrollo. Los acabados superficiales son de chapas de mejor calidad o la conformación de tiras que permiten generar esterillas en su condición natural o revestida de plástico transparente, color o melanina.

Evaluación de uniones en tableros contrachapados con pino y material reciclado

El ensayo de cizallamiento de probetas de tableros de contrachapados, es un procedimiento técnico que busca determinar la habilidad del adhesivo, en este caso el plástico de polietileno fundido, para resistir el desplazamiento de una parte sobre la otra a lo largo del grano de la cara del tablero (COVENIN 2718-90, 1990). Para la determinación de los valores de resistencia al cizallamiento se referenciaron los valores obtenidos en cada ensayo y según tipo de condición del tablero con la Norma EN 314-2 (2006) para tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior, donde el valor mínimo permitido es $1 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ N/cm}^2$. Es importante resaltar que todos los valores obtenidos en el ensayo, fueron divididos entre el valor de $6,5536 \text{ cm}^2$ que es el área de unión entre las chapas de madera sometidas a cizallamiento.

De igual forma se consideró que el 85 % de las probetas ensayadas con falla en la madera, permiten a los tableros elaborados cumplir con el requerimiento de la Norma COVENIN 2718-90 (1.990) de tableros de baja, mediana y alta resistencia a la humedad.

La Figura 2 expone las principales etapas que involucran la manufactura de los tableros contrachapados de chapas de madera de pino caribe y material reciclado de plástico polietileno (PE). El plástico al ser fundido y transformado a forma plástica-líquida con temperatura promedio de $165 \text{ }^\circ\text{C}$, una vez seco retorna a su condición estable, garantizando la unión y estabilidad del tablero. Para cumplir con los requerimientos de la Norma COVENIN 2718-90 (1990), se elaboraron diez (10) tableros de tres (3) chapas entrecruzadas en el sentido contrario de las fibras, intercalando cuatro (4) capas de bolsas plásticas con los debidos tratamientos de limpieza y clasificación según el espesor y color en la conformación del alma. Para el acabado superficial de las chapas externas de los tableros no se colocaron plásticos (PE) transparentes, de forma que sirvieran de acabado superficial final, pero se logró demostrar la factibilidad de su colocación arrojando una mayor protección a la humedad y mejora de la calidad estética de los tableros.

De cada tablero una vez manufacturados, y puestos en acondicionamiento por 48 horas, se procedió a iniciar la fase de ensayos. Según las recomendaciones de las normas se seccionaron los tableros para sacar las probetas que permitirían la realización de cada uno de los ensayos (Figura 2).

Se obtuvieron para la prueba de resistencia al cizallamiento 108 probetas, y para ebullición a fin de determinar la delaminación, se extrajeron 120 probetas de 8 tableros de tres chapas seleccionados por cada condición. Se debe reseñar que el proceso de preparación de las probetas se generó daño en probetas que fueron excluidas, bien por defectos de aserrado o fallas inherentes a la madera.

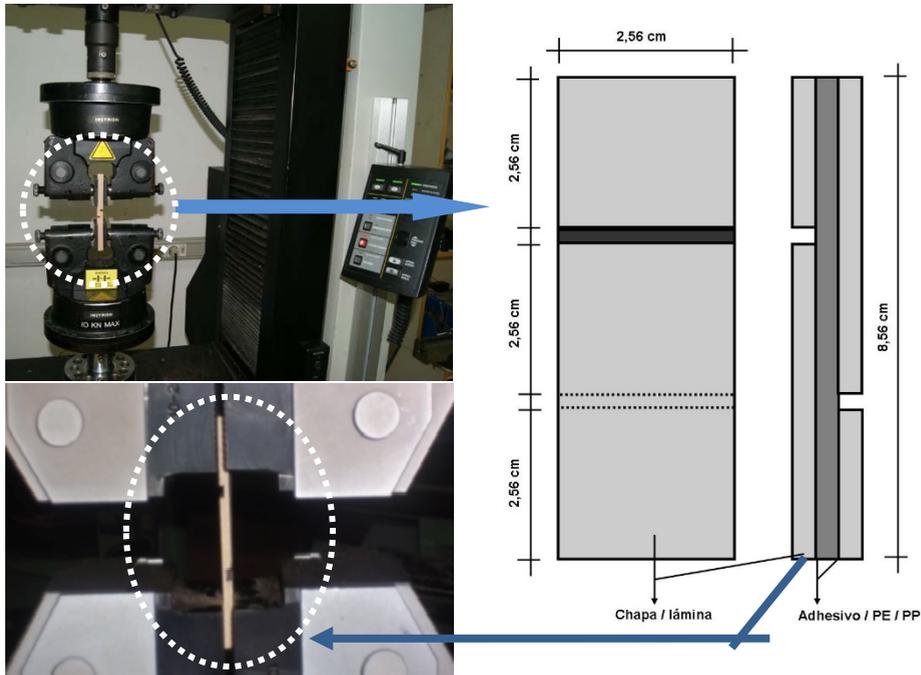


Figura 2. Características técnicas de máquina de ensayos y tamaño de las probetas de ensayo de cizallamiento según la norma venezolana COVENIN 2718-90 para tableros contrachapados. Fuente: Elaboración propia

2.2. Ensayos de delaminación cíclica

Para determinar la calidad de las líneas de cola de los tableros realizados en los ensayos de delaminación, se empleó la norma ASTM D-1101-89 citada y explicada por Schneider y Phillips (1.995) para el ensayo de delaminación cíclica, siendo metodología aplicada con éxito en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF) de Mérida, Venezuela, por Contreras *et al.* (2.003) y Barrios *et al.* (1.990). Ésta implica un procedimiento técnico que hace uso de un autoclave a presión y calor, recipiente de agua donde se incorporan las probetas según las características definidas en la Figura 2, colocándoles entre ellas separadores que permitan la circulación libre del líquido.

Las probetas se hierven por un tiempo de 30 minutos, luego son sacadas y evaluadas en su condición de falla por delaminación. Posteriormente son secadas por 20 horas a una temperatura de 20 ± 5 °C con suficiente circulación de aire para disminuir el contenido de humedad a 8 % CH basado en el peso al horno. Se repite este procedimiento a las probetas que superan la prueba y se hierven nuevamente por 60 minutos, se toma el registro de evaluación, se secan a las mismas condiciones; las que superan esta segunda

fase, son sometidas a hervir por 90 minutos, repitiendo el proceso y cierre del proceso de evaluación para el desarrollo del informe que contendrá el análisis técnico final.

3. Resultados y discusión

En términos generales, se debe resaltar que todos los tableros elaborados en su mayoría, una vez manufacturados y colocados al debido acondicionamiento, presentaron un comportamiento al tacto de consistencia firme y fuerte al dobles en el eje de sus diagonales al contacto, sin ocurrir daño a su estructura en las uniones; al colocar parafina a las planchas de aluminio las chapas salían fáciles al momento del desencofrado, manteniendo siempre el color, siempre y cuando el tiempo no excediera de los 5 minutos a temperatura promedio de 165° C, de lo contrario arrojaría señales de tonos de color ocre oscuro, anuncio de quemado; se generó la posibilidad de colocar una capa de plástico poliuretano transparente para aportarle protección y mejor calidad estética al tablero, lo cual fue exitoso, pero al usar papel parafinado, este tiende a quedarse adherido a las superficies de chapas de madera, haciendo engorroso su proceso de quitarlo, y al usar parafina directamente derrite el plástico, razón por la cual se debe colocar una sustancia emulsión parafinada que facilite sin daño al plástico aplicado en la superficie al momento del desencofrado; se determinó que el proceso ideal para la elaboración de los tableros de tres chapas con el método de presión-calor, es aquel cuando se alcanza el rango de los 160 °C a 170 °C, tiempo de 5 minutos y presión de 10 000 lb/cm².

Se debe acotar que la presión normal para la elaboración de tableros contrachapados de ensayo en el LNPF con adhesivos de urea o fenol formaldehído, entre otros, está en el rango de las 3 000 lb/kg², hecho técnico que no pudo aplicarse en la presente investigación, debido a que al implementar la presión menor a la propuesta, después de varios intentos, las láminas se delaminan y el plástico no logra realizar de manera exitosa la unión mecánica, es decir, a mayor presión, el plástico fundido entra en los poros y hace mejor trabamiento, asegurando el enlace entre chapas. Por otro lado, si la presión y temperatura aumenta inmediatamente el plástico entra a su fase líquida, y se escurre por los extremos.

Se debe resaltar que al liberar la presión, inmediatamente se suceden vapores que emiten gases que exigen al trabajador uso de máscaras especiales y sistema de seguridad contra incendio; por los tipos de plásticos usados, el poliuretano mayormente usado en la presente propuesta, por ser uno de los más generados en el proceso de reciclaje urbano y el poliuretano de embalaje, presentaron excelentes comportamientos en el fraguado y calidad de las juntas a la manipulación manual, lanzamiento a piso y esfuerzos diagonales del plano superficial. Finalmente, se demuestra que a partir de la ecoinnovación, se puede incorporar material de residuos de las fábricas de chapas y aserraderos para hacer

Wilver Contreras M. y María Teresa Rondón

múltiples tipos de tableros contrachapados, especialmente realizándose el proceso de manufactura de esteras a partir de tiras (Figura 3).

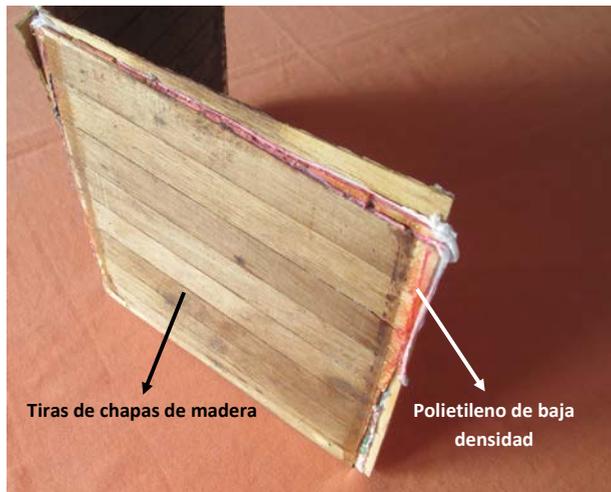


Figura 3. Vista de uno de los tableros manufacturados por proceso de ecoinnovación, empleando como elemento de unión de las láminas el polietileno de baja densidad, permitiendo proyectar el aprovechamiento de material desecho en las fábricas de chapas

3.1. Ensayo de Cizallamiento

Los resultados obtenidos en los ensayos de cizallamiento se resumen en el Cuadro 1, que registran los valores promedios en cada una de las probetas con sus respectivas cargas de ruptura y porcentaje de falla debido a la línea de cola mediante los valores de cizallamiento (Norma COVENIN 2718-90, 1.990).

La determinación del nivel de resistencia física al cizallamiento o proceso de corte en el eje axial de las uniones de plástico polietileno (PEBD) y de alta densidad (PUHD) con las chapas de madera pino caribe, permitió inferir técnicamente los aspectos más importantes que hayan contribuido en alcanzar la calidad de su conformación en cada tablero contrachapado manufacturado:

3.1.1. Análisis de los valores obtenidos en las probetas de chapa de madera pino Caribe con poliuretano de baja densidad PEBD, proveniente de bolsas color negro de mercado.

Al estudiar los resultados obtenidos de resistencia de las juntas en el ensayo de cizallamiento de tableros de chapa de pino caribe, calidad III, con poliuretano de baja densidad (PEBD) de plástico de bolsa color negro, se puede inferir primeramente desde el punto de vista que los tableros al contacto arrojaron una carga mínima de 7,63 kg/cm²

Evaluación de uniones en tableros contrachapados con pino y material reciclado (74,82 N/ cm²) y una máxima de 22,85 Kg/ cm² (224,10 N/ cm²), con promedio de 13,95 kg/cm² (136,55 N/ cm²) .

Cuadro 1. Resultados obtenidos en los ensayos de cizallamiento de los ensayos de delaminación de línea de cola a 30, 60 y 90 minutos de cocción en agua de tableros de chapa de pino caribe, calidad III, con poliuretano de baja densidad (PEBD) color negro (plástico de bolsa; Densidad promedio tableros 0,59 g/cm³).

SERIE	CÓDIGO	30 min (% Falla)	60 min (% Falla)	90 min (% Falla)
TC 1	TC1-1	No se despegó, pero al tratar de separarlas con la mano, se partió 1 de las chapas externas.	Se despegó 1 chapa por los extremos.	No se despegó
	TC1-2	No se despegó	No se despegó	No se despegó
	TC1-3	No se despegó	No se despegó	No se despegó
	TC1-4	Se despegó 1 chapa externa.	No se despegó	No se despegó
	TC1-5	Se despegó 1 chapa externa.	No se despegó	No se despegó
TC 2	TC2-1	Se despegaron las 3 chapas.	Se despegaron todas las chapas, al tratar de separarlas con la mano.	Se despegaron las chapas al tratar de separarlas con la mano.
	TC2-2	Se despegó 1 chapa externa	No se despegó	No se despegó
	TC2-3	No se despegó	No se despegó	No se despegó
	TC2-4	No se despegó	No se despegó	Se despegó 1 chapa al tratar de separarlas.
	TC2-5	Se despegó 1 chapa al tratar de separarlas con la mano.	Se despegó 1 chapa externa al tratar de separarlas con la mano.	Se despegó 1 chapa al tratar de separarlas.
TC 3	TC3-1	Se abrió 1 chapa por los extremos.	Despegó 1 chapa completa y la otra por los extremos.	Se despegó 1 chapa externa por los extremos.
	TC3-2	Se despegaron las 2 chapas externas por los extremos.	Despegadas ambas chapas externas por los extremos.	1 chapa completamente despegada y la otra por los extremos.
	TC3-3	Se despegaron las 3 chapas completamente.	Despegadas ambas chapas externas por los extremos.	Separadas chapas externas por los extremos.
	TC3-4	Al abrir la olla, chapas despegadas completamente	Al abrir la olla, chapas sueltas completamente.	1 chapa completamente suelta y la otra separada en los extremos.

	TC3-5	Se despegaron extremos de 1 de las chapas al tratar de separarla con la mano.	Despegadas ambas chapas externas por los extremos.	Separadas las chapas en los extremos.
TC4	TC4-1	Al abrir el autoclave, chapas totalmente despegadas.	1 chapa suelta y la otra medio pegada.	Al abrir la olla, chapas separadas y sueltas.
	TC4-2	Chapas externas despegadas por los extremos.	Chapas externas medio despegadas.	Chapas abiertas por los lados, pero aún unidas.
	TC4-3	Chapas por todos lados despegadas.	1 chapa suelta y la otra medio pegada.	Al abrir la olla, chapas separadas y sueltas.
	TC4-4	Al abrir autoclave, chapas despegadas y sueltas completamente.	Al abrir olla, todas las chapas sueltas.	Al abrir la olla, chapas separadas y sueltas.
	TC4-5	1 chapa suelta y la otra despegada, pero aún unida a la del centro.	Al abrir olla, todas las chapas sueltas.	Al abrir la olla, chapas separadas y sueltas.

El análisis de valores del ensayo de cizallamiento permite inferir que a pesar que existe variabilidad de valores y porcentajes, los tableros ensayados presentan excelente consistencia física que los hacen factibles para su fabricación por haber obtenido excelente calidad y resistencia, ya que al ser comparados los valores con lo propuesto por la Norma EN 314-2 para tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior, las probetas ensayadas sobrepasan en un 80 % el valor permitido de 100 N/cm².

En referencia al porcentaje y tipo de falla (en la madera o en la unión de plástico), el más alto porcentaje de falla obtenido fue en el elemento de unión de plástico PEBD, y en menor porcentaje, a los defectos de la madera. Por ello, y a pesar de cumplir con la resistencia al cizallamiento mecánico (Norma EN 314-2), este tipo de tableros no cumple con el requerimiento de la norma venezolana COVENIN 2718-90 (1.990) para tableros de baja, mediana y alta resistencia a la humedad, donde el 85% de las probetas ensayadas presentaron falla en la unión de plástico termo fundido.

Los valores promedios obtenidos en el ensayo de cizallamiento de 13,95 kg/cm² (136,55 N/cm²), expresan que a pesar de la buena resistencia obtenida, indican que pudo haber existido en la variedad de valores de resistencia, una posible variabilidad en el proceso de manufactura referida a calidad de las chapas y de las uniones mecánicas de los tableros debido a los defectos propios de la madera de pino caribe, especialmente, la cantidad de nudos característicos de esta especie.

Se debe resaltar que al someter los tableros manufacturados a la manipulación física, éstos resultaron ser estables y consistentes físicamente al tacto, golpe y fuerzas en el eje

Evaluación de uniones en tableros contrachapados con pino y material reciclado diagonal a su superficie. Por ello, este tipo de tableros no deben ser sometidos a cargas estructurales, recomendando su uso sólo como cerramiento de pared y techos en estructuras de paneles de plataforma de madera u otro tipo de material que sirva para el mismo fin, además de entresijos como encofrados perdidos y en la manufactura de artesanías diversas.

3.1.2. Análisis de los valores obtenidos en las probetas de chapa madera de pino caribe con polietileno de baja densidad PEBD, proveniente de bolsas transparentes de mercado.

Al estudiar los resultados obtenidos en los ensayos, se aprecia que existieron errores técnicos de manufactura en toda la serie de muestras TC3 1-1 a TC3 1-6, así como notable variedad de los valores de resistencia y los porcentajes en el tipo de falla madera-plástico. De manera general se determinó una carga mínima de 6,09 kg/cm² (59,72 N/cm²) y una máxima de 24,38 kg/cm² (238,70 N/cm²), con promedio de 17,62 kg/cm² (172,79 N/cm²). Los valores al ser comparados con lo propuesto por la norma EN 314-2 para tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior, la mayoría de las probetas ensayadas sobrepasan en un 88 % el valor permitido por la norma de 100 N/cm².

En referencia al porcentaje y tipo de falla según requerimiento de la norma COVENIN 2718-90 (1.990), se determinaron similares resultados a los tableros antes expuestos en el punto anterior 3.1.1 de tableros de madera con PEBD de bolsas de mercado negro. Esta debilidad, permite recomendar que este tipo de tablero, puede ser usado como cerramiento para espacios internos y externos colocados como alma en paneles de plataforma de madera u otro tipo de material, así como en la manufactura de artesanías diversas y entresijos, con sus debidas consideraciones técnicas de protección por diseño y con sustancias preservantes de la madera.

3.1.3. Análisis de los valores obtenidos en las probetas de chapa madera pino caribe con polietileno de baja densidad PEBD de bolsas color amarillo.

Al estudiar los resultados obtenidos se aprecian valores similares a los obtenidos en los puntos 3.1.1 y 3.1.2, por la variedad de valores de resistencia y porcentajes—tipo de falla. Se determinó una carga mínima de 7,61 kg/cm² (74,63 N/cm²) y una máxima de 30,17 kg/cm² (295,90 N/cm²), con promedio mayor de 17,92 kg/cm² (175,75 N/cm²).

El análisis de valores obtenidos permite inferir que los tableros ensayados por su consistencia física los hacen factibles para su fabricación por haber obtenido excelente calidad y resistencia y que al ser comparados con lo propuesto por la Norma EN 314-2 para tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior, las probetas ensayadas sobrepasan en un 87 % el valor permitido de 100 N/cm². Similar comportamiento se obtuvo en las probetas ensayadas respecto al porcentaje de falla madera-plástico planteado por la

Wilver Contreras M. y María Teresa Rondón

norma COVENIN 2718-90 (1.990) y al ser referenciadas con los tableros analizados en los puntos 3.1.1 y 3.1.2, recomendándose igual tipo de usos en la construcción de cerramientos, entresijos y artesanías.

3.1.4. Análisis de los valores obtenidos en las probetas de chapa de pino caribe, con poliuretano de alta densidad PEHD, plástico de embalaje color negro.

Al estudiar los resultados obtenidos se aprecian valores diferentes y más variados a los obtenidos en los valores referidos a resistencia y porcentajes–tipo de falla, expuestos en los puntos 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3. Se determinó una carga mínima de 5,79 kg/cm² (56,78 N/cm²), por fallas técnicas en el proceso de manufactura y defectos propios de las chapas de madera y una máxima de 15,86 kg/cm² (155,53 N/cm²), con un promedio menor de 9,57 kg/cm² (93,85 N/cm²), aun así los tableros ensayados por su consistencia los hacen factibles para su fabricación por haber obtenido excelente calidad y resistencia.

El análisis de valores obtenidos al ser comparados con lo propuesto por la Norma EN 314-2 para tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior, las probetas ensayadas sobrepasan en un 56 % el valor permitido de 100 N/cm². Esto permite inferir, a pesar de los bajos valores y porcentajes de falla en la unión plástica, que los tableros ensayados presentaron buena consistencia física, haciéndolos factibles para su fabricación y uso decorativo así como en artesanías, con su debidas consideraciones técnicas de protección por diseño y con sustancias preservantes de la madera.

3.2. Ensayo de delaminación cíclica

La determinación del nivel de resistencia física de las uniones de plástico polietileno (PE) y las chapas de madera pino caribe de las probetas sometidas al ensayo de ebullición según los requerimientos de norma ASTM D-1101-89, ha permitido poder determinar el nivel de resistencia a la delaminación de las chapas sólo a los tableros de la serie TC1 definidos en el Cuadro 1. Se puede señalar técnicamente que estos tableros presentaron resultados dispares que exigen un mayor estudio posterior. Se puede apreciar que la mayoría de probetas se delaminaron en los primeros 30 minutos, pero sólo cuatro de las probetas TC1-2, TC1-3, TC2-3, TC2-4 soportaron las exigencias de los tres tratamientos hasta llegar intactos a los 90 minutos de cocción-presión.

Al evaluar los registros de manufactura, se pudo apreciar que tenían un porcentaje mayor de plástico y uniformidad en el proceso de presión – temperatura. Este es una posible causa que permitiría uniformizar todos los valores de resistencia de la presente propuesta, razón por la cual daría una mayor seguridad de los tableros una vez puestos en uso y su resistencia a la exposición a la humedad, recomendándose que si no se resuelve las dificultades de variedad de procesos de manufactura, los tableros pueden ser usados exclusivamente en lugares secos internos.

Evaluación de uniones en tableros contrachapados con pino y material reciclado

Finalmente, se debe resaltar que el proceso de investigación, una vez concluido, permitió ampliar con la manufactura de una variedad de tipos de tableros con diversas materias primas de residuos urbanos y agroindustriales el contexto tecnológico para ser proyectado con éxito a la realización de similares procesos de manufactura en tableros de chapas y cartones (10 por tipo de dimensiones 25 cm X 25 cm; 2 por tipo de dimensiones 50 cm X 50 cm): **A.** Chapas de pino caribe mezclados o no con chapas de samán (*Pithecellobium saman*) y ceiba (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn); **B.** Chapas en los extremos de pino caribe mezclados o no, con láminas de cartón de embalaje, cartón de leche, jugo y tetrapak; tableros cuya alma son cartones antes nombrados con extremos de bambú o madera (Figura 4); mezcla de láminas de chapas de madera-bambú; chapas-tiras de bambú-bambú, bagazo de caña de azúcar-bagazo; esterillas y fibra de vástago de plátano solos y mezclados con bambú en sus diversos tipos. Cada una de las réplicas de desarrollaron en formato de tres (3), cinco (5) y siete (7) chapas, todos con excelentes resultados en consistencia, estética y resistencia.



Figura 4. Tablero de tres capas conformado por tiras de caña bambú+cartón de leche+bambú+ PEED.

De esta forma, con la realización de toda esta serie de tipos de tableros y sus mezclas, se abren perspectivas ciertas para su elaboración y planearte la posibilidad de promocionar su desarrollo artesanal y semi industrial con la consolidación de pequeñas y medianas empresas fabricantes de estos productos forestales ecoinnovadores.

4. Conclusiones y recomendaciones

La presente investigación ha sido realizada en el marco del ecodiseño que promueve el desarrollo de productos industriales ecoinnovadores, es decir y entre otros aspectos,

Wilver Contreras M. y María Teresa Rondón

tecnológicamente racionales, socialmente beneficiosos en la formación de organizaciones socio productivas populares y respetuosos con el medio ambiente.

Los resultados obtenidos en los ensayos de cizallamiento y delaminación cíclica, al ser analizados en su esencia de procesos de manufactura y comparados los valores obtenidos para cada una de las series según la norma española EN 314-2 de cizallamiento para tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior, se puede señalar que fueron muy positivos, al sobrepasar los valores requeridos por la norma española y las expectativas técnicas de resistencia mecánica, permitiendo inferir el uso de los tableros elaborados para espacios internos y secos. En referencia a la norma venezolana COVENIN 2718-90 (1990) para evaluar el tipo de falla en la madera o en la unión, así como la norteamericana ASTM D-1101-89 para delaminación cíclica, los resultados no fueron satisfactorios al reconocer que no se logró buena calidad en la unión mecánica, es decir, la penetración de los tipos plástico termo fundibles en los poros de la madera, como si lo realiza un adhesivo polimérico simple o compuesto. Esta es la principal razón técnica de recomendar su uso decorativo como alma en paneles tipo plataforma de madera u otro material que sirva para el mismo fin.

Desde el punto de vista físico, todos los tableros presentaron excelentes características de resistencia y consistencia a la manipulación, golpes de impacto y fuerzas en el sentido diagonal al plano superficial; estéticamente agradables a la vista y mejoran su aspecto con la aplicación de plástico polietileno de baja densidad como acabado superficial, pero debiendo aplicarse emulsiones de parafina que faciliten el desencofrado de presión-calor. Técnicamente el color en los plásticos no influye en la calidad de los tableros de polietileno de baja densidad PEBD, quienes arrojaron los mejores y altos valores de resistencia al cizallamiento y delaminación, seguidos de último, por los tableros realizados con poliuretanos de alta densidad PEHD.

Son tableros que permiten ser usados en espacios internos expuestos a bajos niveles de humedad como tabiquerías y cielos rasos de diversas edificaciones, entrepisos, mobiliario y artesanías. En caso de ser usados para espacios exteriores, los tableros deben ser revestidos con acabados de láminas de plástico polietileno de baja densidad transparente y materiales aislantes de humedad en los cantos por procesos de corte a fin de evitar daños futuros de delaminación y generar gastos futuros y molestias innecesarias a los usuarios.

Como se expuso en los resultados, con la buena perspectiva de los resultados obtenidos en la presente investigación, se procedió a generar tableros experimentales en similares condiciones pero con diversos tipos de mezclas de materiales (bambú, bagazo de caña de azúcar, tipos de madera, caña brava, cartón de embalaje, leche, jugos y tetrapak) y variación de números de chapas (3, 5, 7, 9 y 11, con proyección a mayor número), considerando variaciones en temperatura y tiempos de presión-calor. Es oportunidad

Evaluación de uniones en tableros contrachapados con pino y material reciclado para continuar estas nuevas líneas de tableros y someterlos a ensayos según las normas. La investigación permite proyectar la posibilidad cierta de desarrollar micros y pequeñas empresas demostrando la factibilidad de establecer el modelo de manejo de residuos sólidos urbanos, rurales y agroindustriales planteado por Contreras *et al* (2015) en el contexto de la Ecología Industrial.

Por último, se debe señalar que la investigación ha sido registrada en todas sus características y especificaciones técnicas en el Depósito Legal de la Biblioteca Nacional de Venezuela, a fin de garantizar su protección y reconocimiento intelectual y legal de los autores.

6. Agradecimientos

Los autores hacen especial agradecimiento al Dr. Pablo Athenagora Moreno Pérez, MSc. Shakespeare Trejo Puente y Lic. Eléxides Márquez, profesores y técnico de la Sección de Tableros Contrachapados del Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

7. Referencias bibliográficas

- BARRIOS E., O. ENCINAS, W. CONTRERAS MIRANDA y A. RIVERA. 2000. 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* 44 (1):17 – 26.
- CONTRERAS MIRANDA M., M. E. OWEN DE C., M. T. RONDÓN SULBARÁN, A.A. CONTRERAS. 2015. *Modelo de Ecodiseño, Sistémico e Interactivo de Sostenibilidad para la Interrelación de Factores Antrópicos y Medioambientales en un Territorio*. Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 58 p.
- CONTRERAS MIRANDA M., MARY E. OWEN DE C., V. CLOQUELL B., V.A. CLOQUELL B., Á. CONTRERAS. 2012. La Rueda de la Sostenibilidad Coclowen, una referencia sistémica e integradora para alcanzar productos industriales respetuosos con el medio ambiente. Libro de Resúmenes XVI Congreso AEIPRO. Valencia, España: 1894-1906.
- CONTRERAS MIRANDA M., S. W. VALERO, MARY E. OWEN DE C., V. CLOQUELL B., M. RONDÓN SULBARÁN, E. BARRIOS, D. A. GARAY JEREZ, Á. CONTRERAS. 2010. El diseño ambientalmente integrado y el ecodiseño en la elaboración de tableros aglomerados de partículas de Bambú con adhesivo fenol formaldehído. *Revista Ecodiseño y Sostenibilidad* 2(1): 117-144.
- CONTRERAS MIRANDA W., BARRIOS E., M. OWEN DE CONTRERAS y O. ENCINAS. 2003. Evaluación de la calidad de las líneas de cola de isocianato en vigas laminadas de *Pino caribe* var. *bondurensis* preservado con sales CCA. *Revista Forestal Venezolana* 44(1):15 – 22.

Wilver Contreras M. y María Teresa Rondón

COVENIN 2718-90. 1.990. Tablero Contrachapado. Normas COVENIN 2718-90. Caracas, Venezuela. 37 p.

EN 314-2. 2.006. Tableros contrachapados Clase 3 de uso exterior. Madrid, España. 17 p.

ESTRADA DE LA ROSA, P., W. CONTRERAS MIRANDA y A. CEDEÑO. 2.016. *El Ecodiseño y Análisis de Ciclo de Vida ACV-Coclowen en la determinación de los niveles de sostenibilidad y proyección de mejora en tableros de bambú en México*. Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 31 p.

QUIMINET. 2.016. Definiciones y característica de los adhesivos. En línea: <http://www.quiminet.com/articulos/definiciones-y-caracteristicas-de-los-tipos-de-adhesivos-18377.htm> [Consultado en: 20/03/16]

SCHNEIDER M., y J. PHILLIPS. 1.995. Testing for selected glues for wood polymer composites in dry and wet use. *Wood and Fiber Science* 27(4): 342-345.

WENZEL H, M. HAUSCHILD y L. ALTING. 1.997. *Environmental Assessment of Products. Vol 1: Methodologies, tools and case studies in product development*. Chapman and Hall. Cambridge, England. 238 p.