

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA DE PINO CARIBE DEL SUR DE LOS ESTADOS ANZOÁTEGUI Y MONAGAS

Qualitative analysis of the main environmental impacts on the life cycle of Caribbean pine Glue-laminated timber from Anzoátegui and Monagas states

Eric Barrios¹, Wilver Contreras², Milena Sosa³ y Mary Owen de C.⁴

¹Universidad Nacional Experimental de Guayana, Centro Biotecnológico de Guayana. e-mail: ericjbarrios@yahoo.com.

²Universidad de los Andes, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. e-mail: wilvercontrerasmiranda@yahoo.es.

⁴Facultad de Arquitectura y Arte, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Email: marowde@doctor.upv.es

³Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. E-mail: milenasosa@idec.arq.ucv.ve.

RESUMEN

La madera es un material orgánico complejo de estructura lignocelulósica. Respecto a otros materiales constructivos, ejemplo del tipo siderúrgico, pétreos artificiales o químicos-hidrocarburos, la madera presenta ventajas y cualidades superiores desde el punto de vista de menor consumo energético en sus procesos de transformación y menor impacto ambiental en la mayoría de la etapas que conforman su ciclo de vida. De ahí que el presente trabajo se concentre en la identificación cualitativa de los principales impactos ambientales que se suceden en torno a uno de los productos forestales derivados de la madera sólida de mayor difusión en la elaboración de sistemas estructurales, tal como lo es la madera laminada encolada (MLE) o Glulam. Así, se llega a definir que la MLE permite una mejor utilización del recurso madera debido a la reutilización de materiales de poca resistencia y de reducidas dimensiones, los cuales unidos por medio de adhesivos especiales llegan a conformar elementos de gran resistencia y gran tamaño. También se caracteriza, en términos cualitativos, la carga ambiental asociada con este producto en las entradas y salidas del Sistema Producto, tales como: consumo energético, materiales usados, emisiones y residuos liberados al ambiente, permitiendo evaluar e implementar mejoras ambientales.

Palabras clave: contaminación, madera laminada, *Pinus caribaea*, reutilización de materiales.

ABSTRACT

Wood is a complex organic material of lignocellulosic structure. As compared to other construction materials, such as metal, artificial stone or hydrocarbons, wood presents advantages and superior quality from the point of view of lower energy consumption during its transformation process and less environmental impact during the majority of the stages of its useful life. Therefore, this paper focuses on a qualitative identification of the main environmental impacts that would be brought up by Glued-Laminated wood, or Glulam; one of the forest products, derived from solid wood, most widely used in structural systems. We realize that Glulam allows a better use of wood resources due to the recycling of low resistance and reduced dimensions materials which once joined by special adhesives become great strength and size elements. In order to implement environmental improvements, we also characterize, in a qualitative way, the environmental load associated with this product such as: energy consumption, materials used, and emissions and pollutants released into the environment.

Key words: pollution, glulam, *Pinus caribaea*, reutilization of materials.

INTRODUCCIÓN

La madera aprovechada de forma sostenible presenta verdaderas fortalezas como un material de construcción y, por ello, se podría transformar en el material constructivo y energético del presente siglo. Todo esto desde una mirada más protagónica, es decir, la madera como pilar del recurso forestal internacional y a su vez de la estabilidad mundial respec-

to a la existencia misma del planeta Tierra. De ahí que de seguirse explotando los recursos naturales y elaborando productos y servicios industriales, bajo el modelo económico-productivo tradicional, sumado a los ascendentes niveles de explosión demográfica, la capacidad de carga del planeta no podrá resistir tantos desmanes medioambientales. Muestra de ello se puede apreciar, desde una óptica nacional, que las altas tasas de deforestación en Venezuela,

ya están generando graves problemas de pérdida de biodiversidad, recursos hídricos, erosión y procesos incipientes de desertificación y con ello la pobreza del suelo en buena parte de la región centro occidental.

Dentro de este contexto, los recursos hídricos al sur del río Orinoco se han visto, por igual, acechados por la explotación irracional de los bosques de las Reservas Forestales, especialmente de la Reserva Forestal de Imataca, Estado Bolívar, lo cual pondría en riesgo la estabilidad futura de los complejos hidroeléctricos del Guri y Macagua. Por todo ello se pretende promocionar las fortalezas de explotar de forma sostenible las plantaciones forestales de pino caribe para la fabricación de elementos estructurales y de cerramientos para proyectos de construcción de viviendas y muebles que podría traer beneficios económicos, energéticos y sociales para la economía nacional y la sociedad venezolana en pleno.

Por estas razones este trabajo pretende realizar el análisis del ciclo de vida de la Madera Laminada Encolada (MLE) manufacturada por Industrias Kondor S.A., evaluando la carga ambiental asociada tanto a productos, procesos y servicios, llegando a identificar en las principales etapas del Sistema Producto, algunos de los más importantes gastos de energía, los materiales usados, así como los residuos y emisiones liberados al ambiente. De esta forma se pretende demostrar técnicamente que el uso de la madera en la construcción puede ser beneficioso tanto medioambiental como económica y socialmente.

BREVE RESUMEN TÉCNICO SOBRE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

La Madera Laminada Encolada (MLE), también conocida por sus siglas en inglés como Glulam (glued-laminated timber) puede definirse según Arriaga (2002); Chugg (1964) y Selbo (1954) como un producto estructural elaborado por el encolado de varias capas individuales de madera aserrada, previamente dimensionadas bajo condiciones controladas, de modo que la dirección de las fibras de todas las capas o láminas sea aproximadamente paralela. El tamaño, la forma, el número y espesor de las láminas puede variar.

El nuevo concepto engloba a otros productos laminados de nueva generación como: el *Laminated*

Veneer Lumber (LVL), el *Parallel Strand Lumber (PSL)* o conocido bajo su marca comercial como Parallam, el *Laminated Strand Lumber (LSL)* y el *Oriented Strand Lumber (OSL)*. En la actualidad la Industria Forestal y la Industria de la Construcción internacional reconoce que aunque existen diferencias de las características intrínsecas de cada producto respecto a resistencia, constitución, materiales, etcétera, todos son agrupados en una misma familia, la de la madera laminada encolada (Contreras *et al.*, 2005).

En la manufactura de las vigas laminadas encoladas, las piezas de maderas son unidas en sus extremos por medio de la técnica de *finger joint* (también es llamada unión tipo dedos o dentada y esta técnica se utiliza para unir los extremos de dos piezas de madera que van a conformar las láminas del Glulam y poder eliminar así los defectos naturales de la maderas como los nudos) y posteriormente dispuestas en capas o laminas horizontales. La laminación es una vía efectiva de usar madera de limitadas dimensiones para manufacturar grandes miembros estructurales en muchas formas y tamaños. Las vigas laminadas encoladas son usadas tanto para vigas como columnas y miembros curvos cargados a flexo-compresión (Parte C de la Figura 1). Un elemento laminado sustenta su efectividad estructural, calidad de uso y estética no solamente en su competitividad de costos respecto a otros sistemas constructivos, su forma, esbeltez y agresividad de sus diseños, sino en la garantía de que el usuario reciba una edificación plenamente garantizada en el tiempo, libre de daños en la estructura interna de la madera por efecto del ataque de hongos e insectos. Por tales razones, se promueve en el presente trabajo el uso de la madera de pino caribe proveniente de las plantaciones forestales del sur de los estados Anzoátegui y Monagas para la fabricación, entre otros, de elementos laminados encolados. En este sentido cabe destacar que C.V.G. Proforca y empresas privadas han plantado aproximadamente 750 millones de pino caribe desde 1970, y en la actualidad Proforca cuenta con más de 410 mil hectáreas de bosques de pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) y sigue en aumento (http://www.cvgproforca.com/htmls/quienes_somos.php).

Finalmente, se pretende identificar los principales impactos generados en el Sistema Producto de los productos de madera laminada encolada, tomando como ejemplo los procesos de manufactura emplea-

dos por la Industria Kondor S.A., por ser la única industria existente en Venezuela, hasta la presente fecha, que fabrica este tipo de productos. Así, se pretende exponer de manera cualitativa, la caracterización de los principales impactos ambientales en el ciclo de vida de la madera laminada encolada de pino caribe del sur de los Estados Anzoátegui y Monagas. Luego de la caracterización cualitativa, que permite entender el ciclo de vida del producto, se deberán desarrollar un conjunto de estudios posteriores que permitan la descripción detallada, hasta su parte indivisible, de todas las variables inherentes al impacto ambiental que participan en el proceso, de tal forma de poder cuantificarlo. Para ello, es imprescindible la utilización de normativas internacionales, que resulte en una base de datos que permita el análisis bajo técnicas de cálculo de operaciones unitarias. Además, será determinante la planificación y desarrollo de investigaciones, con el objeto de poder desarrollar un análisis, expresado en términos, competitivos y comparativos con respecto a los productos tradicionales.

EL ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

La *Society of Toxicology and Chemistry* (ST&C) define el análisis de la Evaluación del Ciclo de Vida (ACV), como: “*un proceso objetivo para evaluar la carga ambiental asociada con un producto, proceso o actividad identificando la energía y los materiales usados y los desechos liberados al ambiente, y evaluar e implementar oportunidades para ejecutar mejoras ambientales*” (<http://www.tifac.org.in/news/lcaem.htm>). De ahí que las Figuras 1 y 2 sirvan de marco referencial para representar gráficamente el Sistema Producto de los productos forestales de madera laminada encolada manufacturados por la Industria Kondor S.A., ubicada en la zona industrial de Matanzas de la ciudad de Puerto Ordaz, del estado Bolívar. A continuación se definen resumidamente la caracterización de algunos de los principales impactos según sea la etapa analizada del ciclo de vida según la definición expuesta por la (ST&C). Por otro lado, recientemente Contreras y Cloquell (2006), desarrollaron para la misma industria un trabajo que define la cuantificación de los impac-

tos ambientales, sociales y económicos del Sistema Producto de vigas de madera laminada encolada con madera de pino caribe.

A) Etapa de siembra y aprovechamiento de las plantaciones de pino caribe del sur de los estados Anzoátegui y Monagas

El ciclo de vida de un producto forestal, y en específico de la madera laminada encolada, se inicia con la selección de semillas y tratamientos pregerminativos, preparación de sustrato, manipulación de tubotes para luego ejecutar la siembra de éstas en el vivero, luego de ser regadas regularmente y haberle dado los cuidados necesarios para su crecimiento inicial, es transplantada de forma semi-mecánica en un terreno previamente preparado para recibir la pequeña planta. Luego, para mejorar el crecimiento se le agrega los aditivos respectivos al suelo en los primeros años de vida. Estos incluyen fertilizantes (nitratos y fosfatos), herbicidas (para controlar la competencia del monte con los nuevos pinos) y pesticidas en pequeñas cantidades para controlar los insectos que pudieran atacar a la plantación. Cuando la plantación madura y han crecido lo suficientemente los árboles necesitan mayor espacio para su desarrollo en diámetro y se procede a un aclareo, los árboles removidos en esta etapa del ciclo pueden ser usados para la producción de pulpa y papel o tabletes de partículas.

Una vez que la plantación ha llegado a su madurez es cosechada de forma mecánica, siendo el tiempo de cosecha variable de acuerdo al uso para el cual fue destinada la plantación, pudiendo oscilar entre 15 y 30 años. Los procesos incluidos en la etapa de cosecha son la tala, desramado, trozado, carga y traslado al aserradero.

En este primer proceso de aprovechamiento se generan desechos propios de la maquinaria que está trabajando en las plantaciones, así como producto de la corta como lo son las ramas, la copa del árbol y aserrín, muchos de éstos pueden ser aprovechados como combustible y abono, además en la Parte A de la Figura 1 se puede apreciar el aprovechamiento integral del pino, por su puesto, debe recordarse que éste depende del producto para el cual va a estar destinada la plantación, pero en general podemos apreciar que aproximadamente el 50% del árbol va a estar destinado al proceso de aserrío y un aproximado del 25% a pulpa y papel.

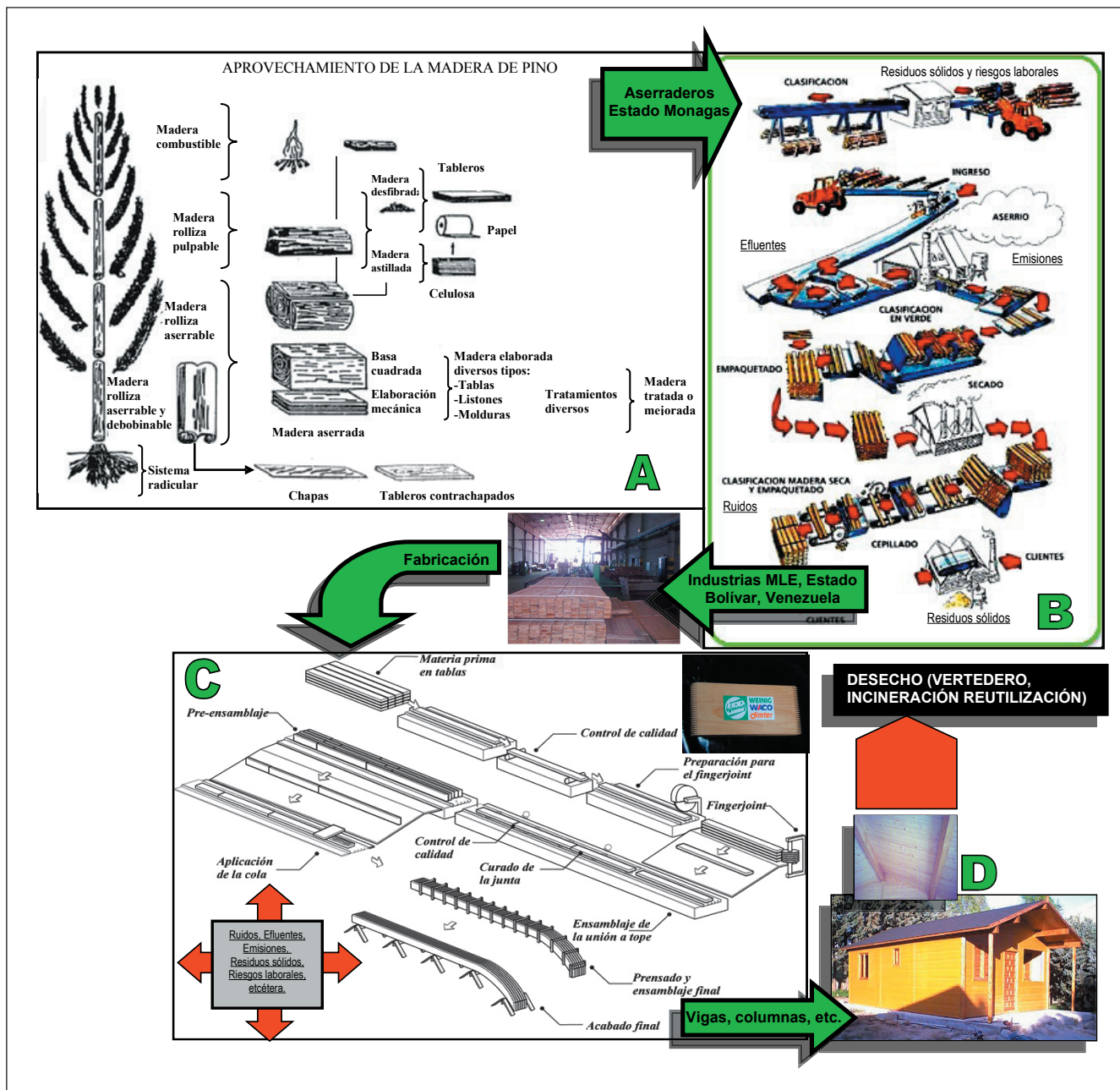


Figura 1. Algunos de los más importantes impactos en las etapas del ciclo de vida de las vigas laminadas encoladas (A) Aprovechamiento de la madera de pino caribe. (B) Aserrío de la madera de pino caribe. (C) Proceso de manufactura. (D) Uso final. Fuente: Elaboración propia a partir de las páginas web http://www.papelnet.cl/madera/esquema_produccion.htm; <http://www.cwc.ca/products/glulam/manufacture.php>

Desde el punto de vista medioambiental, es interesante resaltar una gran fortaleza técnica que tiene a favor la madera, y es que cada tonelada de madera en crecimiento en los bosques o plantaciones forestales jóvenes produce 1,07 toneladas de oxígeno y absorben 1,47 toneladas de CO₂ de la atmósfera, hecho que no realiza ningún otro material de construcción. De ahí que al aumentar los niveles

de sensibilización, capacitación y uso de este recurso natural se esté ayudando a la fijación del carbono dentro de su estructura, y así, a limpiar el medioambiente (<http://www.apawood.org/>). Respecto a la caracterización de los principales impactos generados en esta etapa de siembra y aprovechamiento de las plantaciones de pino caribe, se pudieran definir, como impactos más resaltantes, los siguientes:

Entradas: Semillas. Combustibles para las máquinas de siembra. Paisaje del sur de los estados Monagas y Anzoátegui. Agua. Fertilizantes. Insecticidas y pesticidas. Energía eléctrica usada proveniente del sistema hidroeléctrico de la Represa del Guri, estado Bolívar. Detergentes y solventes químicos. Bolsas y embases plásticos y metálicos. *Procesos:* Siembra, absorción de CO₂ y aprovechamiento de las plantaciones. *Salidas:* Almacenamiento de CO₂. Riesgos laborales. Efluentes que contaminan las aguas superficiales y sub-superficiales con detergentes, insecticidas, plaguicidas, desfoliadores, aceites lubricantes para las maquinarias, etcétera. Olores de las sustancias químicas. Envases metálicos y plásticos (bolsas, bidones, etcétera). Emisiones y ruidos de las maquinarias. Intervención y daños al medio ambiente (movimientos de tierra, daños a la flora y fauna autóctona). Incendios.

B) Etapa de transformación de las trozas de pino caribe del sur de los estados Anzoátegui y Monagas

El procesado o transformación de la madera de pino caribe en trozas o rolas, una vez ubicadas en el patio del aserradero, según sean las características de éste, y considerando que se toma como ejemplo de estudio la línea de producción del Aserradero San Luís de la antigua Corporación Forestal Uverito, localizado al sur del estado Monagas, el cual incluye: descarga de trozas en el aserradero, el descortezado, unidad de medición de características geométricas de las trozas, clasificación de las trozas por categorías diamétricas, transporte de trozas desde el patio de trozas clasificadas por categoría diamétrica hasta plataforma de carga de sierra principal, plataforma de carga a sierra principal (chipper canter), sierra múltiple incluidas en la línea de producción, canteadora, unidad de optimización de cortes para eliminación de defectos o en su defecto despuntadoras y/o tronadoras, mesón de clasificación, apilado, baño antimancha. En cuanto al secado artificial de la madera aserrada, implica el transporte de la madera apilada al secador, montaje de las pilas en el carro del secador, uso de la caldera para la generación de calor, en el proceso de secado es necesario evaluar el impacto ambiental sobre las fases de calentamiento, secado, acondicionamiento y sobre todo las emisiones de componentes orgánicos volátiles, conocidos como VOCs (volatile organic compounds).

Baño antimancha. Por otra parte, los tratamientos de preservación de la madera contra el ataque de los agentes xilófagos, implican la evaluación de los niveles de toxicidad, penetrabilidad, permanencia e inocuidad del preservante, además de considerar las actividades inherentes al transporte y montaje de madera apilada hasta la línea de preservado, la ubicación o pesado de la madera, magnitud y tiempo de vacío, activación de la bomba de presión, devolución del preservante al tanque de almacenamiento y vacío final (Parte B de la Figura 1; Figura 2).

Al estudiar con mayor detalle las figuras antes mencionadas se pueden identificar los impactos para las siguientes subetapas del aserrío o proceso de transformación de la madera en trozas en productos forestales como basas, semi-basas, tablonés, tablas, virutas (chips), etcétera.

Aquí es importante resaltar que en cada una de las subetapas que conforman todo el Sistema Producto de los productos de madera laminada encolada de la madera de pino caribe, requieren del consumo de distintos tipos de energía, fundamentalmente la electricidad proveniente de los sistemas hidroeléctricos para las maquinarias, la energía calorífica suministrada por la caldera para la producción de vapor que es alimentada con gasoil, etcétera. Entonces, y por ello, se debe hacer un apartado a la temática del consumo de energía requerida para la manufactura de productos industriales y su debida comparación.

Al analizar con mayor detalle lo antes expuesto, se debe tener claro que la energía usada durante todo el ciclo de vida del producto tanto en la extracción, producción de un material o producto, uso y disposición final, es llamada *energía incluida*, y esta energía acumulada durante todo el ciclo de vida del producto se va sumando a medida que se le incorporan procesos u otras conversiones. Si se emplean hidrocarburos, mientras más alta sea la energía incluida, mayor será la emisión de CO₂. Si se compara las emisiones y la energía incluida de los materiales tradicionales como el acero, concreto, aluminio y plástico, con la madera, se puede apreciar que ésta última tiene baja energía incluida y gracias al efecto de conversión del carbono en los bosques posee emisiones negativas de CO₂.

Aún cuando los materiales como el acero o el aluminio son reciclables, usualmente ese proceso requiere una cantidad gigantesca de energía, mayor que la utilizada para la transformación de la made-

ra. De ahí que la energía que hace falta para procesar una tonelada de madera es aproximadamente 5 veces menor a la del cemento, 14 veces menor que a la del vidrio, y 24 veces menor que a la del acero. Además la madera es el material que produce menor contaminación del aire y del agua, menor que los caracterizados en la fabricación del acero, el cemento, el aluminio, los ladrillos y los plásticos (Robles y Echenique, 1988; Cilento, 1998) y según la APA - The Engineered Wood Association (2006), el acero produce 14% más emisiones contaminantes al aire y 312% más contaminantes a los afluentes líquidos, y la energía incluida de este material de construcción supera a la de la madera en 17%.

Además, con el establecimiento del Acuerdo de Kyoto es prioridad ahorrar energía y contribuir a la calidad del medioambiente global reduciendo las emisiones de CO₂, y con ello, ayudando a disminuir la contaminación ambiental y mejorar la calidad de vida de todos los habitantes del planeta. En este sentido, un estudio sueco emprendido en el 2001 comparó la energía incluida y las emisiones de CO₂ en la construcción de casas similares, un modelo fabricado de madera, otro de acero y otro de concreto (hormigón). La diferencia en energía de 2.300 MJ/m² usada en los materiales y la construcción de la casa es suficiente para calentar una de las casas por 6 años, mientras que la diferencia de 370 kg/m² en emisiones de CO₂ es equivalente a la emisión de 27 años de calentamiento o de conducir 130.000 km en un volvo S80 (Glover, 2001).

Desde el punto de vista de gasto energético, la energía necesaria para la fabricación de la madera es nula. El árbol utiliza la energía solar para su desarrollo. El consumo de energía en el proceso de transformación de la madera es bastante inferior cuando se compara con el acero, aluminio o cemento: una tonelada de madera consume aproximadamente 430 Kwh, una tonelada de acero consume aproximadamente 2700 Kwh y una tonelada de aluminio consume aproximadamente 17000 Kwh (Jáuregui, 1997). Por ello los requerimientos energéticos son bajos para producir un metro cúbico de madera aserrada, preservada y secada al horno a un contenido de humedad del 12%.

Entonces, si la producción de madera aserrada no requiere gran cantidad de energía, ésta precisa poco consumo de combustibles fósiles. Ya Buchanan y Honey (1994), obtenían para la madera de pino australiano tratado y seco al horno, el valor de gas-

to energético de producción de 0,7 Kwh/Kg. En el caso de una madera aserrada tratada y seca al aire es de 0,67 Kwh/Kg. Según el Consejo Nórdico de la Madera la energía que consumen los aserraderos, incluyendo el corte y el transporte, esta estimado en 480 Kwh por metro cúbico.

Al comparar con los valores de gasto energéticos de producción de un acero de clasificación general, Alcorn y Baird (1996), determinaron el valor de 9,7 Kwh/Kg, concientes de que los valores de los gastos de energía del acero son muy variables oscilando desde 2,5 a 16,4 Kwh/Kg, ya que depende según sea el tipo de producto y proceso. Similarmente obtuvieron el valor del gasto de energía para el cemento, llegándolo a definir como 2,2 Kwh/Kg. Mientras que Buchanan y Honey (1994), lo ubicaban en 2,5 Kwh/Kg. El informe de estos últimos autores, presenta mayores valores comparativos de otros materiales respecto a lo analizado por Alcorn y Baird (1996), lo cual no es muy confiable, ya que no diferencian las densidades que existen según la especie de madera, considerando que el pino, madera blanda, puede tener una densidad media promedio estimada en 500 Kg/m³, y una madera de alta densidad, caso el zapatero (*Peltogyne porphyrocardia*) de la región de Guayana con una densidad de 890 Kg/m³. Por ello, éste es uno de los principales errores que cometen los profesionales cuando trabajan con la madera, y que por desconocimiento, tienden a generalizar en lugar de diferenciar las especies de árboles, los factores técnicos inherentes a las propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de sus maderas.

Es bueno indicar, como se reportará más adelante, que un alto porcentaje de la energía empleada en el proceso de producción de madera aserrada se utiliza en los hornos de secado. Gran parte de esa energía es producida con frecuencia por los propios aserraderos quemando los subproductos, como las cortezas y el aserrín. Finalmente, desde el punto de vista de contaminación ambiental, la producción de madera aserrada causa leves emisiones contaminantes en el agua, el suelo y el aire. Los desechos, cortezas no utilizables y cenizas, son la causa principal de las emisiones sobre el suelo. La corteza desechable se utiliza cada vez más para la producción de energía y como relleno en la pavimentación de caminos. Las cenizas y astillas pueden ser devueltas al bosque, lo que conlleva un menor impacto medioambiental (Azqueta *et al.*, 2004).

Caracterización de impactos en la subetapa de Clasificación de las trozas o rolas según el diámetro y proceso de descortezado (B.1 de la Figura 1; Figura 2)

Entradas: Materia prima madera de pino caribe. Energía eléctrica usada proveniente del sistema hidroeléctrico de la Represa del Guri, estado Bolívar. *Procesos:* Clasificación y descortezado. *Salidas:* Altos volúmenes de cortezas de las trozas. Ruidos. Polvo. Aceites lubricantes para las maquinarias. Kerosene para la limpieza de zonas mecánicas. Riesgos laborales por corte y aplastamiento de partes del cuerpo especialmente manos y pies, altos niveles de calor en las zonas de trabajo. Contaminación de las aguas sub-superficiales.

Caracterización de impactos en la subetapa Aserrío de las trozas (B.2 de la Figura 1; Figura 2)

Entradas: Madera de pino caribe. Energía eléctrica. Combustibles hidrocarburos (gasolina/gasoil, aceites lubricantes y grasas). Agua. *Procesos:* Aserrío de las trozas en las subetapas (1) Máquina Chipercanter, (2) Máquina de Sierra Múltiple, (3) Máquina de disco de corte transversal para la obtención de las semi-basas, basas, cuarterones, tablones, tablas y forros. *Salidas:* (1) Máquina Chipercanter que permite obtener semi-basas y basas, la cual llega a generar por proceso de corte altos volúmenes de virutas (chips) para ser usadas como generadores de energía calorífica de los altos hornos de las industrias siderúrgicas, industria de tableros, industria de pulpa y papel, ejemplo entre otras, VENALUM y SIDOR del estado Bolívar. (2) Máquina de Sierra Múltiple para la obtención de tablones, tablas y forros con corteza. (3) Máquina de disco de corte transversal para el despuntado de las tablas a medidas estándares del comercio nacional. (4) Mesa de clasificación. (5) Embalaje para la formación de los paquetes y precintado. Todos estas subetapas generan a su vez altas cantidades de aserrín el cual es aspirado y almacenado en un silo para su posterior aprovechamiento como abono para las plantaciones forestales de pino caribe. Ruidos. Polvo. Plásticos y metales de los flejes. Aceites lubricantes para las maquinarias. Kerosene para la limpieza de zonas mecánicas. Riesgos laborales por corte y aplastamiento de partes del cuerpo especialmente manos

y pies, altos niveles de calor en las zonas de trabajo. Contaminación de las aguas sub-superficiales. Contaminación vía aspiración del polvo y del contacto directo de la madera al sistema respiratorio de los trabajadores por los extractivos propios de la misma (ejemplo los polifenoles).

Así los residuos sólidos generados durante el proceso de transformación de la madera corresponden principalmente a aserrín verde, corteza, despuntes de madera y virutas. En la mayoría de los casos estos residuos se constituyen en recursos energéticos que pueden poseer un valor en el mercado, los cuales pueden estar en el orden de 0,05 y 0,15 toneladas de residuos sólidos por tonelada producida. Como se ha podido denotar, otra fuente de desechos sólidos en un aserradero es la producida por las actividades de mantenimiento. Éstos generan una serie de residuos sólidos tales como envases de solventes, aceites, grasas y elementos de limpieza de la maquinaria. También se puede producir emisiones gaseosas como por la incineración de los residuos de aserrín y virutas, lo que libera óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono a la atmósfera. Como también por el proceso de secado en el cual se pueden liberar compuestos orgánicos volátiles. Existe otro tipo de contaminantes, los sónicos, los cuales son producidos por los dispositivos mecánicos de transporte empleados en la industria de la madera, así como los producidos por el corte, fresado, cepillado de la madera y el aspirado del aserrín en polvo.

Caracterización de Impactos en la subetapa de Tratamiento de Preservación industrial de los diferentes productos forestales de madera de pino caribe (B.3 de la Figura 1)

La pila de madera es llevada al baño antimanchas para evitar su contaminación con el hongo causante de la mancha azul (*Botryodiplodia theobromae*). Los residuos líquidos provenientes del baño antimanchas generan residuos de alta toxicidad compuestos principalmente por pesticidas solubles en agua. Al sacar el paquete de madera de la piscina y llevarlo al sitio de almacenaje el preservante escurre en todo el suelo descubierto. Aunque las cantidades derramadas no son de gran magnitud, el trabajo continuo con estas sustancias va generando un daño permanente del área inmediatamente aledaña a la zona de baño producto del escurrimiento de la ma-

dera extraída del tratamiento, con el consiguiente riesgo a los operarios y de infiltración en mantos subterráneos de agua por aporte permanente.

Luego que la madera es secada y si el cliente así lo requiere la madera es tratada con fungicidas, insecticidas o ambos, pudiéndose utilizar una gran variedad de productos y su aplicación en la madera depende de las condiciones a que va estar sometida o expuesta la madera en su uso final y este proceso ocurre, necesariamente, después del secado. Uno de los métodos de aplicación principales y más efectivo es el tratamiento a presión (aunque se puede hacer por inmersión o pintado). Este proceso consiste en que la madera a tratar es ubicada dentro de un cilindro de presión al vacío o de célula llena. Puede ser utilizado en este proceso calor o no, dependiendo del tipo de preservante a utilizar. La sustancia preservante mayormente usada en el Aserradero de CVG – Proforca, como en la mayoría de aserraderos de la zona, son las sales de Cobre, Cromo, Arsénico (CCA). Éstas son altamente peligrosas para la salud humana, animal y medioambiental. La caracterización de los principales impactos generados en esta subetapa de preservación de las tablas y tablones, serían los siguientes:

Entradas: Tablas y tablones de madera de pino caribe. Agua. Energía eléctrica usada proveniente del sistema hidroeléctrico de la Represa del Guri, estado Bolívar. *Procesos:* Preservación de la madera por autoclave. *Salidas:* Riesgos laborales por corte y aplastamiento de partes del cuerpo especialmente manos y pies. Efluentes que contaminan las aguas superficiales y sub-superficiales con sales CCA. Aceites lubricantes para las maquinarias y detergentes. Olores de las sustancias químicas. Envases metálicos de las sales CCA. Emisiones de los montacargas. Ruidos propios del autoclave, así como de los montacargas.

Caracterización de Impactos en la subetapa de Secado al horno o estufa industrial de los diferentes productos forestales de madera de pino caribe (B.4 de la Figura 1)

Una vez embalada en forma de paquetes, los productos forestales son enviados a la secadora donde su contenido de humedad va a ser reducido hasta aproximadamente 12%. Este proceso ocurre en hornos especiales, también denominados estufas indus-

triales, cuyo sistema para producir el calor necesario para secar la madera es generado por una caldera que utiliza el agua sobrecalentada en forma de vapor y el calor de esta agua es irradiado hacia las pilas de madera por medio de unos intercambiadores de calor. Este sistema consume combustible fósil (gasoil) para calentar el agua que va a circular hacia estos intercambiadores de calor del horno, además utiliza energía eléctrica para hacer funcionar el sistema de ventiladores y de control, este proceso puede durar varios días. Aquí se puede recalcar que es este proceso el que absorbe la mayor cantidad de energía, ya que consume aproximadamente 75% de la energía requerida para todo el proceso de aprovechamiento (Figura 2). La caracterización de los principales impactos generados en esta subetapa de secado de las tablas y tablones, serían los siguientes:

Entradas: Tablas y tablones de madera de pino caribe con un 30% de CH. Energía eléctrica. Combustible de gasoil, aceites lubricantes y agua para las calderas. *Procesos:* Secado de la madera por estufas industriales de 100 m³ c/u. *Salidas:* Riesgos laborales por corte y aplastamiento de partes del cuerpo especialmente manos y pies. Efluentes que contaminan las aguas superficiales y subsuperficiales con aceites lubricantes para las maquinarias. Olores de las sustancias químicas. Emisiones de vapor y de gases de la caldera. Emisiones de los montacargas. Ruidos propios de la caldera y estufa industrial, así como de los montacargas.

Caracterización de Impactos en la subetapa de embalaje y empaquetado de las tablas y tablones

Los productos forestales de tabla y tablón generados en esta etapa son empaquetados con el fin de facilitar el proceso de movilización y manipulación de estos dentro de las naves industriales (galpones) y el proceso de montaje a los camiones de gran tonelaje (gandolas) los cuales usan como combustible el diesel. Respecto a los impactos, son similares a las anteriores subetapas, pero se deben mencionar que en Salidas resaltan los residuos de flejes plásticos-metálicos. Emisiones y ruidos de los montacargas y camiones de transporte. Residuos de maderas desechadas en los procesos de clasificación final y control de calidad.

C) Etapa de Manufactura de las vigas y columnas de madera laminada encolada en la Industria Kondor

La Industria Kondor S.A., es la única empresa en Venezuela que fabrica madera laminada encolada, la cual fue fundada a mediados del decenio de los años noventa del pasado Siglo XX, y estaba adscrita a la Corporación Forestal Uverito. La misma se ha transformado en un referente nacional de proyección de uso de la madera laminada encolada cuyos productos son generalmente comercializados, dado el tipo de prensas que utilizan, en vigas y columnas rectas de sección rectangular. Hacen uso de madera de pino caribe, aunque han realizado esfuerzos por manufacturar elementos laminados con madera de teca (*Tectona grandis*). Sus productos son de buena calidad y a precios que entran dentro de los rangos internacionales (400 - 450 dólares americanos el metro cúbico). Éstos son ofertados con acabados superficiales al natural o con tintes especiales para simular otros tipos de madera. El adhesivo empleado es el Metil-Di-Isocianato (MDI) (Contreras *et al.*, 2000).

Barrios *et al.* (2000) y Contreras (2002) estudiaron estos productos y recomiendan su uso para espacios interiores en ambientes secos, así como la mejora de los controles de calidad en la selección de las piezas, dado los defectos de aserrío y labrado mecanizado, lo que permitiría mejorar aún más la técnica de *finger joint* y así aumentar la calidad del producto. De igual forma recomiendan el uso de otro tipo de adhesivo más fuerte a las exposiciones del medio ambiente externo, caso resolcinol, melaminaresolcinol o fenol formaldehído, entre otros adhesivos, de fraguado a temperatura ambiente. Todo ello repercutiría en llegar a fabricar productos de alta calidad técnica y estructural, a la altura de los países industrializados como Alemania, Austria o España.

A pesar de que la Industria Kondor esta ubicada en una buena zona industrial con todas sus infraestructuras de servicios, así como contar con buenas instalaciones referidas a su nave industrial, para el momento del estudio, la empresa requiere mejorar el área abierta que funciona como los patios de descarga y almacenamiento de la materia prima no procesada, así como también de la zona de carga del producto acabado, casetas de control de entrada y salida de personas y productos. Esto repercutiría en

una mejor racionalización de procesos, menor gasto de combustible de los montacargas, menos desgaste físico de los trabajadores, etcétera.

La Parte C de la Figura 1, expone aproximadamente la línea de producción de elementos laminados de la empresa, consta de forma general, de un galpón que alberga las siguientes secciones: Sección administrativa. Sección de Procesamiento Mecánico. Área de recepción de materia. Tronzadora que despunta y secciona las tablas de madera a los tamaños mínimos requeridos para la formación de las láminas. Disco múltiple para seccionar las trozas, cuartones, tablas o tablonos de grandes espesores a los tamaños requeridos. Cepilladora, para uniformizar el espesor de las láminas a los lineamientos de producción. Una (1) Lijadora, para darle un excelente acabado superficial que permita la aplicación del adhesivo. Una (1) Molduradora que permita aprovechar los residuos del proceso de aprovechamiento del pino caribe para producir todo un compendio de componentes constructivos como farquillas para puertas y ventanas, bordes de mobiliario en general, etcétera. Un (1) Montacarga que permite la movilización de la madera desde la sección de procesamiento, mecánico una vez preparada hacia la sección de fabricación, también como movilización de los tambores de 50 kilogramos de adhesivo MDI. La industria cuenta con equipos menores (taladros, sierra de mano, juego de llaves, etc.).

La Sección de Fabricación de los elementos laminados que incluye la línea de *finger joint*, depósito de herramientas, zona de encolado de las tablas/tablonos, zona de las dos prensas hidráulicas lineales de 5 metros c/u., y zona de acondicionamiento de los productos. También tiene una grúa puente para la movilización de los elementos laminados hacia la zona de depósito y carga. Aunque actualmente se aplica el adhesivo MDI con rodillo de manos, la dirección de la empresa tiene previsto la adquisición de una encoladora industrial de rodillo para la aplicación continúa del adhesivo a las laminas de madera.

Por todo lo antes expuesto, y al comparar los posibles impactos entre los procesos de transformación y manufactura de la madera sólida y la madera laminada encolada (Figura 2), se puede reportar que las emisiones al aire y desechos sólidos tienen un mayor impacto en el Glulam que el procesado de la madera sólida, debido que la manufactura del Glulam requiere de equipos y adhesivos especiales

altamente contaminantes, si se usan productos a base de formaldehído, caso fenol-formaldehído.

Subetapa de transporte de las tablas y tablones desde el aserradero a la Industria de laminado

Los productos forestales de tabla y tablón generados en la etapa anterior, son utilizados como materia prima para la fabricación de los elementos laminados encolados y el impacto ambiental se produce en el proceso de transporte, de carga y de descarga de las gandolas, las cuales usan como combustible el diesel; y en las emisiones, desechos y ruidos de los montacargas y camiones durante dicho proceso, además de los residuos de los flejes producidos por el desempaqueado de la madera.

Subetapa de clasificación y habilitado de las tablas y tablones en la Industria Kondor

Lo primero que se hace en esta subetapa (Parte C de la Figura 1; Figura 2), es chequear el contenido de humedad de las piezas, y apartar las que no cumplan los requisitos mínimos exigidos de humedad y calidad. Luego las tablas son ubicadas en el área de carpintería donde distintas máquinas como la sierra de banco, sierra radial, canteadora van a ser las encargadas de habilitar las piezas de madera a las medidas determinadas. Luego pasa a la cepilladora donde se va a dar la planitud a sendas caras de la tabla para asegurar un buen contacto entre tabla y tabla y para completar el trabajo se pasa a la lijadora donde se eliminarán las marcas hechas por el cepillo y se reactivará la superficie para asegurar una buena unión específica con el adhesivo, esto último es recomendable hacerlo justo antes de iniciar el proceso de encolado para reactivar la superficie y que el encolado sea mucho más efectivo.

Subetapa de preparación y desarrollo del *finger joint* en la Industria Kondor

En esta subetapa se realiza nuevamente un chequeo de la calidad de cada una de las tablas que van a conformar el miembro laminado (Parte C de la Figura 1; Figura 2). Aquí los operarios de la línea de *finger joint* deben determinar, según estándares de la norma de calidad de madera aserrada (JUNAC, NALG, otras), qué sitios han de cortarse para eliminar defectos (nudos, grietas, pudrición, etcétera) que pudieran comprometer la integridad del elemento laminado en servicio. Después se le practica a los

extremos de cada tabla el *finger joint*, para, de esta forma, poder unir los extremos y formar una sola lámina. Una vez realizada esta operación y luego de haber fraguado la cola, se le realiza otro control de calidad para verificar que la unión haya sido realizada correctamente. Posteriormente se cepilla la lámina de madera para evitar que queden resaltes que puedan interferir en el encolado. Los impactos son similares a la anterior subetapa, con la diferencia de que ya se están liberando sustancias volátiles producto de los químicos del adhesivo como los compuestos orgánicos volátiles.

Subetapa de pre-ensamblaje, encolado, presión y ensamblaje final de las piezas de madera de los productos de madera laminada encolada

El proceso de pre-ensamblaje en seco (Parte C de la Figura 1; Figura 2), se define con la disposición de las láminas tal cual como van a quedar en el elemento laminado. Ahora si se procede al encolado con el adhesivo escogido para este fin (MDI o Fenol-formaldehído), y seguidamente se van colocando en la prensa hidráulica. El tiempo de prensado abierto del MDI es aproximadamente de dos (2) horas y media. Es de acotar que la subetapa más contaminante o que más puede impactar al ambiente en el proceso de manufactura, es el momento del encolado. Al abrir el embase del MDI y manipularlo, los trabajadores deben estar muy bien protegidos con mascarar y guantes especiales para protegerse las emisiones de olores y micro partículas al ambiente, y que pueden causar daños a la salud de los trabajadores, especialmente en los ojos, piel y aparato respiratorio, dado el alto nivel de riesgo de los adhesivos usados en esta subetapa.

El proceso de prensado y ensamblaje final se efectúa cuando todas las piezas estén colocadas en la prensa hidráulica. Al aplicar la presión (aproximadamente 15 kg/cm²) se espera que se desarrolle el tiempo de curado de la cola, que en este caso es a temperatura ambiente, ya que el MDI hace reacción de fraguado con la humedad misma de la madera. El tiempo de prensado cerrado es de dos (2) horas.

Subetapa acabados finales de los productos de madera laminada encolada (Parte C de la Figura 1)

La fase de acabados superficiales finales en la Industria Kondor, se desarrolla luego de que ha fra-

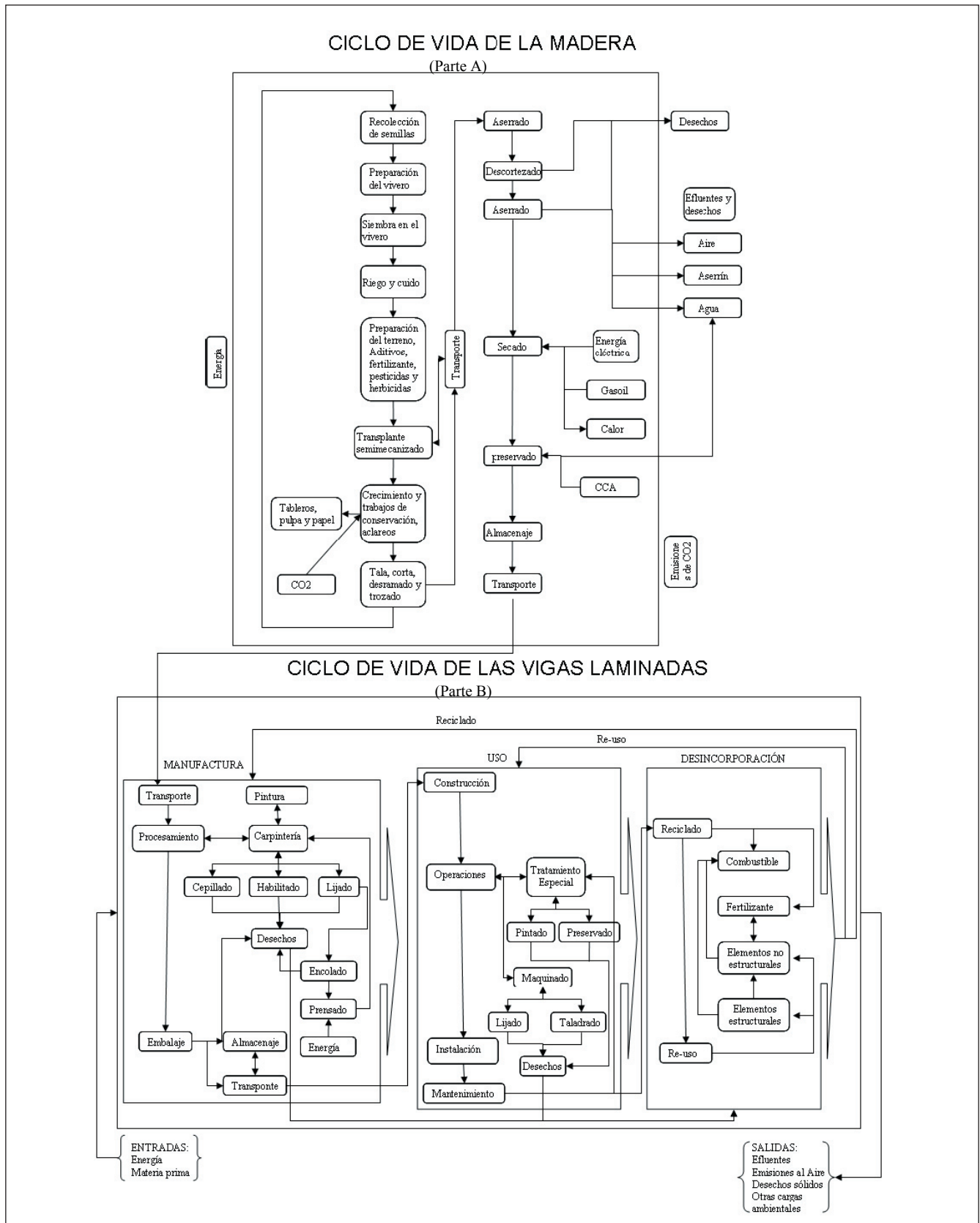


Figura 2. Flujograma de las principales etapas que conforman el Sistema Producto de los procesos de transformación (Parte A), y manufactura de las vigas laminadas (Parte B), con sus principales Entradas y Salidas. Fuente: Elaboración propia.

guado la cola. Así se regresa al área de carpintería donde se le darán los toques finales a la viga para eliminar restos de colas y sobresaltos y hacerle las últimas maquinaciones, como los agujeros donde irán los pernos y las pletinas para su sujeción en obra, etcétera. Finalmente con el acabado final, las vigas o columnas estarán listas para su embalaje, almacenaje y transporte para el montaje final en obra.

Subetapa de transporte de las MLE desde la Industria Kondor a la obra final

Los productos finales manufacturados son transportados al sitio de construcción, donde se emplean similares métodos de transporte a los tradicionalmente usados en la Industria Forestal venezolana. En ese sentido, típicamente en Venezuela, el transporte de la madera ocurre usando camiones de chuto plano o camiones cuyo combustible es el diesel. Al llegar al sitio de obra, si hace falta se hacen los últimos retoques de maquinado que hagan falta, de pintura, tratamientos preservantes, etcétera. En el proceso de instalación es posible que se necesite una grúa para la colocación final.

La caracterización de los principales impactos en estas subetapas son los siguientes: *Entradas*: Tablas y tablones de madera de pino seco con o sin tratamiento preservante o de conservación proveniente de la etapa anterior. Energía eléctrica. Combustibles y lubricantes debido al transporte de la madera dentro de la industria. *Procesos*: Manufactura de la madera laminada encolada. *Salidas*: Riesgos laborales por corte y aplastamiento de partes del cuerpo especialmente manos y pies. Ruidos. Generación de residuos sólidos como el aserrín, virutas y piezas pequeñas de madera. Liberación al ambiente de compuestos orgánicos volátiles provenientes del encolado y acabado de la madera laminada encolada.

d) Etapa final de la vida útil del producto

Al final de su vida útil los productos de madera laminada encolada presentan la ventajosa característica que, por ser un material lignocelulósico, se pueden llegar a reciclar o reusar, dependiendo siempre del estado en que se encuentren, es decir, libre de pudriciones, rajaduras y otros defectos que pongan en peligro la estabilidad estructural de la futura edificación.

De todas formas, cada viga o columna de madera laminada puede llegar a ser reaserrada para otros elementos no estructurales, o llegar a ser materia prima para la fabricación de tableros de construcción y similares, o ser valorizada como abono o energía calorífica, sin contaminar el medio ambiente (Jáuregui, 1997).

Al estudiar la Figura 1, se puede apreciar que la Industria de la Construcción es la principal demandante de productos forestales de madera laminada para la elaboración de infinidad de tipos de edificaciones. Y es que la industria de la construcción ocupa el sector más grande de consumo de los recursos naturales de la tierra que cualquier otra actividad. Este sector consume el 40% de la materia prima y de la energía producida en el planeta, el 17% del agua fresca y el 25% de la cosecha mundial de madera. En última instancia, la producción y aplicación del acero, concreto, y la madera dentro del sector residencial, crea 10 millones de toneladas de gases de efecto invernadero, polución del aire y agua y otros desechos (Koman & Luna, 2007).

Esta explotación insostenible de los recursos naturales de la tierra, claramente demuestra porque es necesario mejorar los procesos actuales involucrados en la producción del acero, concreto y la madera y cambiar el foco de la industria de la construcción a una más ambientalmente amigable, lo que se ha venido a llamar Bio-arquitectura, Construcción Sostenible, etcétera. Éstas procuran el uso de materiales que generen menores impactos en su ciclo de vida, menor consumo energético, el desensamblaje de las edificaciones y sus componentes, materiales renovables y/o reciclables que produzca residuos de bajo impacto ambiental, así como generar estrategias que disminuyan el creciente consumo energético derivado del incremento de los niveles de vida y de la progresiva invasión de aparatos eléctricos y electrónicos en el ámbito laboral y residencial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por medio de la identificación cualitativa de los principales impactos ambientales en el ciclo de vida de la Madera Laminada Encolada (MLE) de pino caribe, se alcanzan a exponer, en forma aproximada, algunas de las principales ventajas competitivas, desde el punto de vista ambiental, que tiene la madera de pino caribe de las plantaciones forestales del sur de

los estados Anzoátegui y Monagas, respecto al resto de materiales usados de forma tradicional en la construcción (acero, cemento, aluminio y vidrio) en Venezuela. Según la información bibliográfica consultada, se puede afirmar de manera contundente que la madera en sus procesos de obtención, aprovechamiento, transformación y manufactura de productos forestales tiene un menor impacto medioambiental por la disminución de consumo de energía. También, el caso del uso sostenible de la madera del pino caribe, contribuiría a disminuir, entre otros, el consumo de recursos naturales no renovables (hidrocarburos) y la explotación de los bosques naturales de las Reservas Forestales, primordialmente la Reserva Forestal de Imataca del estado Bolívar. A pesar de que la MLE tiene actividades adicionales que implican el consumo y uso de recursos potencialmente contaminantes, como los utilizados en los adhesivos, estos son menores que los generados por los materiales tradicionales, lo que es una ventaja a la hora de su uso, razón por la cual se puede decir al final que el uso de la madera puede ayudar a que las construcciones sean más sostenibles y a disminuir la gran contaminación que la actividad de construcción en general produce al ambiente. Finalmente se recomienda desarrollar futuros trabajos sobre la temática de ACV sobre la gran cantidad de productos forestales que se manufacturan en Venezuela, de forma que sirvan de base para sensibilizar y concienciar a los industriales de la Industria Forestal y sociedad venezolana en general, a fin de poder contribuir con el establecimiento de los principios del Desarrollo Sostenible global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCORN, J. y G. BAIRD. 1996. Use of Hybrid Energy Analysis Method for Evaluating the Embodied Energy of Building Materials. WREC. London. England.
- APA - The Engineered Wood Association. 2006. ACV. (Consultado el 23 Junio 2006). Disponible en: <http://www.apawood.org>
- ARRIAGA, F. 2002. Estructuras de madera. *Tectónica Madera (II)*, 13:4-27.
- AZUETA, M. y M. CHAN. 2004. Una introducción a las casas de madera. *Boletín Académico No.21 de la revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (FIUADY)*. México. Disponible en la página: <http://arte.mundivia.es/astruc/doctxt87.htm>
- BARRIOS, E., W. CONTRERAS, O. ENCINAS 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.
- BUCHANAN, A. y B. HONEY. 1994. Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, 20, 205-217.
- CHUGG, W. 1964. *Glulam*. Londres, Inglaterra.
- CILENTO, A. 1998. Tendencias tecnológicas en la producción de viviendas. *Interciencia*, 23(1):26-32.
- CONTRERAS, W. 2002. *Tres experiencias de viviendas de bajo costo para el medio rural, construidas en madera y acero*. UFORGA. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- CONTRERAS, W., V. CLOQUELL y M. OWEN DE C. 2005. *La madera. Productos Forestales. Industria Forestal. Conceptos y Clasificación*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- CONTRERAS, W., y V. CLOQUELL. 2006. *Propuesta metodológica de diseño ambientalmente integrado (DAI), aplicada a Proyectos de Diseño de productos forestales laminados encolados con calidad estructural*. Trabajo especial para optar al título de Doctor. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- CONTRERAS, W., M. OWEN DE C., F. ROSSO y Y. CONTRERAS. 2000. Las resinas fenólicas y su importancia en Venezuela para la fabricación de estructuras de madera laminada. *Revista Forestal Latinoamericana*, 15(27):1-13.
- FREAS, A. y M. SELBO. 1954. *Fabrication and design of fluid laminated wood structural members*. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin.
- GLOVER, J. 2001. *Which is better? Steel, concrete or wood: a comparison of assessments on three building materials in the housing sector*. Department of Chemical Engineering University of Sydney.
- JÁUREGUI, J. 1997. La Madera, el material del futuro. (Consultado el 02 Abril 2006). Disponible en: http://www.gea-es.org/bioconstruccion/maderafuturo_biocons.html
- KOMAN, M. y G. LUNA. 2007. Introduction to green buildings & leed. University of South Carolina. (Consultado el 23 Junio 2007). Disponible en: <http://www.housing.s.edu/ppt/greenblsands/wq.ppt>
- ROBLES, F. y V. ECHENIQUE. (1988). *Estructuras de madera*. Noriega Editores. México.

http://www.papelnet.cl/madera/esquema_produccion.htm

(Página web consultada el 12 Mayo 2006).

<http://www.cwc.ca/products/glulam/manufacture.php>

(Página web consultada el 15 Mayo 2006).

http://www.cvgproforca.com/htmls/quienes_somos.php

(Página web consultada el 01 Junio 2006).

<http://www.tifac.org.in/news/lcaem.htm> (Página web consultada el 10 Julio 2006).

<http://www.apawood.org/> (Página web consultada el 12 Julio 2006).