

ARCOS CON MADERA LAMINADA DEL PINO CARIBE VENEZOLANO. UNA PROPUESTA PARA PROCESOS DE ARQUITECTURA ECOSUSTENTABLE

Dr. Rafael Gerardo Páez

Doctor en Arquitectura, profesor del Instituto de Ingeniería Agrícola,

Facultad de Agronomía, campus Maracay-UCV

Estudiante de la Especialización en Gerencia de Proyectos de

Investigación y Desarrollo. FACES-UCV

arkitectoniko@gmail.com

Recepción: 01 de Mayo del 2017 / Aceptación: 28 de Junio del 2017

Innovación Tecnológica como Proceso

Resumen

El principio generador de la madera laminada establece que piezas aserradas, débiles y pequeñas, al unirse con adhesivos artificiales, conforman elementos más grandes, con propiedades físico-mecánicas superiores a las de la misma especie maderable. En esta investigación se analiza la aplicación de la madera laminada del *Pinus caribaea* Morelet, var. *hondurensis*; cultivado en la Orinoquia venezolana, para fabricar sistemas estáticos curvos, dentro de procedimientos edificatorios en construcciones ecológicas y sustentables. El objetivo general propone definir un modelo estructural de arcos que simplifique las labores de producción, transporte, pre-ensamblado, montaje, aprovechamiento, transformabilidad, deconstrucción y reciclaje; que justifique los principios de desarrollo tecnológico ecosustentable basados en las innovaciones tecnológicas de la madera laminada de pino Caribe. La metodología empleada permitió analizar comparativamente y describir los predimensionamientos del peralte de distintos componentes estructurales portantes, que responden eficientemente a esfuerzos de

flexo-compresión, configurados a partir de los diagramas de momentos flexionantes de vigas rectas simplemente apoyadas y empotradas y son geoméricamente análogos a sistemas de arcos bi o triarticulados. Entre las conclusiones se determina que la arquitectura ecosustentable queda definida como el conjunto de medidas que aportan soluciones constructivas que no dañan el medio ambiente; que emplea, además, materiales naturales renovables, respeta los ecosistemas, construye sin desperdicios; que deconstruye y recicla, sin demoler ni generar escombros. Este artículo queda incluido en la línea de Investigación: Innovación Tecnológica como Proceso; sub-línea: Asimilación y Dominio Tecnológico; Postgrado de Gestión de Investigación y Desarrollo - Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Central de Venezuela.

Palabras clave: Arcos, arquitectura ecosustentable, bosques de la Orinoquia, madera laminada, pino Caribe.

**ARCHES WITH VENEZUELAN
CARIBBEAN PINE'S LAMINATED WOOD.
A PROPOSAL FOR ECO-SUSTAINABLE
ARCHITECTURE PROCESSES**

**ARCS DE BOIS CONTREPLAQUE DE
PINE CARAÏBE DU VENEZUELA. UNE
PROPOSITION POUR DES PROCESSUS
DE L'ARCHITECTURE ECO-DURABLE**

Abstract

The main principle of laminated wood for buildings establishes that some weak and small sawn pieces, when joined with an artificial adhesive, make up a larger element with physical-mechanical properties superior to the ones of the same timber species in original condition. The use of *pinus caribaea* Morelet, var. *hondurensis* laminated wood, cultivated in the forests of the Venezuelan Orinoquia, is analyzed in this research in order to supply raw material in the manufacture of structural components for different static systems, which part from the horizontal straight beam, simply supported on vertical columns; up to the two or three joints arches, within the building procedures of ecological and sustainable constructions. It is proposed as a general objective to define an arch model as a structural element which simplifies production, transportation, preassembly, assembly, exploitation, transformability, deconstruction

Résumé

Le principe de génération de bois stratifié pour structures indique que plusieurs pièces sciés, faibles et petites, quand elles sont unies par adhésives artificielles, forment un plus grand élément, avec des propriétés physico-mécaniques plus élevés que celles des mêmes espèces de bois à l'état originel. Dans cette recherche on analyse l'application de bois stratifié de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*; cultivées dans les forêts de l'Orinoquia Vénézuélienne, pour fournir la matière première dans la fabrication de composants structurels pour les systèmes statiques différents, qui partent de la poutre horizontale, simplement en appui sur des colonnes verticales, jusqu'à les arcs de deux ou trois articulations dans les procédures édicatrices de constructions écologiques et durables. Il est l'objectif général de définir un modèle d'arc comme élément structurel qui simplifie les tâches de production, de transport, des procédures de préassemblé,

and recycling tasks; that justifies the principles of eco-sustainable technology development based on the application of Caribbean pine wood. Among conclusions, it is determined that eco-sustainability in architecture is defined as the set of measures that result in an environmentally friendly constructive solution; which also uses materials of natural origin respecting ecosystems, builds without waste; deconstructs and recycles without demolishing or generating waste. This article is included in the line of research called: Technological Innovation as a Process; Sub-line: Assimilation and Technological Dominance; of the Research and Development Management Master Degree - Economic and Social Sciences Faculty of Central University of Venezuela.

Key words: Arches, eco-sustainable architecture, Orinoquia forests, laminated wood, Caribbean pine.

de montage, de l'utilisation, d'être transformable, de déconstruction et de recyclage; qui justifie les principes du développement technologique éco-durable, basés sur l'application de bois contreplaqué de pin Caraïbe. Parmi les conclusions, il est déterminé que l'architecture de Eco soutenabilité est définie comme l'ensemble des mesures prises pour obtenir comme résultat une solution constructive respectueuse de l'environnement; qui utilise également des matériaux naturels, qui respect les écosystèmes, qui construit sans déchets; qui déconstruit et recycle, sans démolir ou générer des débris. Cet article est inclus dans la recherche: l'innovation technologique comme un processus; sous ligne: Assimilation et domaine technologique; Master in Management de la Recherche et développement - Faculté des sciences économiques et sociales de l'Université centrale du Venezuela.

Mots-clés: arches, architecture éco-durable, forêts de l'Orénoque, bois stratifié, pin Caraïbe.

Introducción

Se pierde en el tiempo el origen de las técnicas de aserrar, encolar y unir piezas de madera para fabricar armas de caza, muebles, instrumentos musicales y herramientas de labranza. Trasladar estos conocimientos empíricos a la manufactura de la construcción, mediante elementos estructurales con madera laminada, tuvo como punto de partida la iniciativa de Otto Hetzer en la primera década del siglo XX. Esto sentó las bases del desarrollo tecnológico para fabricar piezas de madera laminada que superan los esfuerzos y sollicitaciones a los que no pueden someterse otros materiales constructivos. Salvar luces de 100 metros o más, es posible, uniendo pequeñas láminas con pegamentos de altas condiciones físicas y mecánicas.

Existen más de veinte tipos diferentes de sistemas estáticos con madera laminada estructural que han sido predimensionados para lo cual se consideran variables tales como la luz o distancia entre los apoyos (L); los valores aproximados del peralte (H) y la base (b) de la sección transversal rectangular uniforme y en los casos de los arcos se consideran las flechas (f) (Pérez, 1992: 120; AITIM, 1994: 389). Estos sistemas portantes tienen como punto de partida la viga recta horizontal de sección uniforme, libremente apoyada; hasta alcanzar otros medios de sustento más complejos como son, por ejemplo, los arcos de dos y tres articulaciones.

El estado del arte de las edificaciones con estructuras de madera laminada encolada ha estado signado por una incesante necesidad tecnológica de salvar mayores luces con elementos cada vez más esbeltos.

Tratándose de edificaciones solucionadas con arcos curvos en la década de los años 70 y 80 se emplearon las estructuras que superaban 70 metros de luz sin apoyos intermedios, con arcos biarticulados y triarticulados como medios de sustentación que garantizaba eficazmente la respuesta a las sollicitaciones de equilibrio estable y simplificaba labores de fabricación en taller, transporte a los sitios de obra y disminuía los tiempos de montaje; todo lo cual se traducía, a fin de cuentas, en cuantiosos ahorros presupuestarios. Rodríguez (1999) señala que entre algunos de los edificios que lograron estos parámetros se hallan tres edificaciones deportivas de relevancia: el Pabellón Polideportivo de Limoges, Francia, 1979, con arcos de 70 y 80 metros de luz, el Pabellón Polideportivo de Cesena, Italia, 1982, construido con arcos biarticulados con los que se obtuvo una luz de 71 metros y el Pabellón Polideportivo de Villeben-Sur-Ivette, Francia, 1993, que alcanzó una luz de 82 metros (Rodríguez, 1999).

El siglo XX finalizó con dos edificaciones donde los arcos carpaneles bi o triarticulados con madera laminada permitieron salvar distancias entre los apoyos superiores a los 125 metros. Como ejemplos se mencionan el Pabellón de Hamar, Noruega, 1992, con un arco que forma una espina dorsal de 260 metros con cerchas transversales de 96.4 metros de luz y el Pabellón Utopía para Expo Lisboa 98 con 125 metros sin apoyos intermedios (Rodríguez, 1999).

Venezuela, país donde se realiza la presente investigación, aun cuando posee el recurso forestal del pino Caribe en abundancia, no logra apropiarse de las innovaciones tecnológicas con madera laminada estructural. Mientras en otros países, incluso del subcontinente latinoamericano, las edificaciones con madera laminada son la muestra más fehaciente de dominio edificatorio; en el país solo existen muy pocos ejemplos que han sido resueltos con componentes de pequeñas dimensiones.

El único límite existente al emplear la madera laminada estructural es la imaginación del diseñador; lográndose edificaciones que rebasan con creces los estándares de seguridad establecidos, además de reflejar un alto valor estético, con un mínimo de material aplicado, sobre todo cuando se contrasta con los dimensionamientos requeridos al emplear materiales de construcción tradicionales como la piedra, el concreto armado, acero, madera maciza y otros.

En la actualidad se hace necesario recurrir a prácticas tecnológicas que generen procesos edificatorios que no alteren el orden de los ecosistemas. Es así como los alcances del concepto de arquitectura ecosustentable van más allá de la mera introducción de un neologismo, convirtiéndose en una necesidad: la de organizar procedimientos constructivos sostenibles y sustentables; que propicien una clasificación de los modelos estructurales y economice los materiales a emplear, construyendo sin desperdicios; que deconstruya en lugar de demoler y adopte procesos de reciclaje sin demoliciones ni provocar desperdicios o escombros de los cuales nadie se hace responsable.

Esta investigación tiene como objetivo general definir un modelo de arco como elemento estructural que simplifique tareas de producción, transporte, pre-ensamblado, montaje, aprovechamiento, transformabilidad, deconstrucción y reciclaje; que justifique los principios de desarrollo tecnológico ecosustentable basados en la aplicación de la madera laminada encolada de pino Caribe sembrado en los bosques de la Orinoquia venezolana.

Se analiza la posesión y administración, por parte del Estado venezolano, de los bosques de pino Caribe de la Orinoquia venezolana. Se describe el modo, a todas luces ineficaz, en que

estos han sido administrados por diferentes entes y autoridades que poca o nula experiencia poseen en el negocio forestal, todo lo cual ha conllevado al decrecimiento de los bosques y a que la madera extraída no logre surtir de materia prima a procesos importantes de construcción en el país. Son mencionados secuencialmente los actores involucrados del sector oficial y las concesiones otorgadas al sector privado que han generado el decrecimiento de esta área boscosa.

La metodología empleada permitió realizar un análisis comparativo de los diferentes sistemas estáticos que tienen como punto de partida a la viga recta horizontal simplemente apoyada y la analogía de los momentos flexionantes que estos generan con la configuración de modelos estructurales de arcos. A partir de allí se presentan los predimensionamientos en modelos estructurales con madera laminada encolada con la determinación de peraltes, luces y ejemplos internacionales edificados.

Como resultado se determina que el arco carpanel constituye un modelo idóneo para construir edificaciones con madera laminada estructural, para cumplir preceptos de una arquitectura ecosustentable, ya que éste al fabricarse con pino Caribe, se ocupa una materia prima que está disponible y contribuye a respetar los ecosistemas, mediante procesos constructivos que cumplen los ciclos tecnológicos ecosustentables.

El pino Caribe. Los bosques de la Orinoquia

En Venezuela se encuentran los bosques de plantación más grandes de América y del mundo del pino Caribe. Ubicados en la parte sur de los estados Anzoátegui y Monagas, los bosques de la Orinoquia, comprendían para el año 2003 una extensión aproximada a “330 mil hectáreas netas de plantación con un potencial productivo anual de 2 millones de metros cúbicos de madera rolliza” (Plan Nacional Forestal, 2003: 41), que se halla subutilizada y en inminente riesgo de perderse. Esta especie forestal no es originaria de Venezuela. Otros países como son: Honduras, Belice, Guatemala, Cuba, Nicaragua y El Salvador poseen plantaciones que se han desarrollado en forma natural. En 1960 se iniciaron los primeros ensayos para introducir el *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* (Sénécl.) W.H.Barrett & Golfari – pino Caribe en las plantaciones de Cachipo, estado Monagas; ya para el año de 1967 el Estado venezolano, a través del Ministerio de Agricultura y Cría-MAC, había iniciado el desarrollo de las primeras hectáreas experimentales en Uverito, al Sur de esa misma entidad.

Los bosques fueron creados mediante una propuesta ecológica y agroindustrial de José Joaquín Cabrera Malo (1921-2016, Figura 1), ingeniero venezolano, quien planteó que el pino

Caribe fuera sembrado en los suelos de la Mesa de Guanipa-Anzoátegui, cuyos terrenos, pese a todos los argumentos en contra, eran propicios para cultivar coníferas con la finalidad de proveer pulpa a empresas papeleras. No se planeó que la madera de estos árboles pudiera servir, a futuro, de materia prima a la industria de la construcción de edificaciones.

A lo largo de estas décadas el Estado venezolano ha mostrado falta de una visión acertada para inversiones en proyectos forestales de envergadura. Aunado a esto la administración, mantenimiento, desarrollo y explotación de los bosques ha sido encargada a diferentes entes (Cuadro No 1).

Las principales concesiones (Cuadro No 2) para la explotación de los bosque se otorgaron, por el Estado venezolano representado



Figura 1. José Joaquín Cabrera Malo.

Fuente: <http://www.azulambientalistas.org/jose-cabrera-malo.html>

Cuadro No 1. Entes que han tenido a su cargo la administración de los bosques de pino Caribe venezolano.

Periodo	Ente administrador
1961 - 1975	Ministerio de Agricultura y Cría administró los bosques desde 1961 hasta 1975. En 1972 se creó la segunda plantación del bosque, en Chaguaramas, Municipio Libertador-Monagas. Referencia: Reiche y Ramírez (1999: 14).
	El desarrollo forestal de pino Caribe contó con la cesión por parte del Instituto Agrario Nacional (IAN) de la titularidad de las tierras del Sur de Anzoátegui y Monagas a la CVG por el orden de las 1.6 millones de hectáreas. Referencia: Plan Nacional del Sector Forestal (2013: 43).
	Financieramente la creación de los bosques se dio mediante la inyección de capitales por parte del Estado venezolano provenientes de fondos públicos y créditos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que sobrepasaron los 250 millones de dólares (US\$), éstos fueron administrados a través de los Programas de Crédito Forestales denominados Prodefor I y II. Referencia: Plan Nacional del Sector Forestal (2013: 78).
1975 - 1988 	Consejo Nacional de Reforestación, CONARE, el cual en 1988 se fusionó con la Corporación Venezolana de Guayana para crear una filial: Productos Forestales de Oriente, CVG-PROFORCA. Referencia: Plan Nacional del Sector Forestal (2013: 41).
1988 - 2010 	Productos Forestales de Oriente, CVG-PROFORCA (85% de las acciones eran propiedad de la CVG y 15% de CONARE) Referencia: Paiva et al (2014: 19).
2010 - actual 	Desde La Habana se anuncia el traspaso de PROFORCA del Ministerio de Agricultura al Ministerio de Industrias con la nueva designación: Maderas Socialistas del Orinoco. Referencia: Paiva et al (2014: 19).

Fuente: Elaboración propia.




por la CVG-PROFORCA, a partir de 1997, al consorcio suizo-chileno Masisa® mediante contrato a 30 años.

Masisa® poseía al 31 de diciembre de 2015 en Latinoamérica un patrimonio forestal de 322.393 hectáreas. Este consorcio en Venezuela totalizaba 147.341 hectáreas de terrenos forestales, 93.333 hectáreas de bosques de plantación (distribuidas en 88.176 hectáreas de pino, 5.157 de otras especies); 42.789 terrenos por forestar, 2.065 hectáreas de bosque nativo y reservas y 9.154 hectáreas de otros terrenos (Masisa, 2016: 39).

Tales cifras no son indicadores de que Masisa® sea propietaria de la totalidad de estas áreas boscosas de pino Caribe. Las condiciones contractuales especifican que, si bien poseen el derecho de arrendamiento y usufructo del 100%, únicamente son propietarios del 27% que equivalen a 25.200 hectáreas; el 73% restante continúa en propiedad del Estado venezolano (Masisa, 2016: 39).




Para el año 2000 los bosques de pino Caribe cubrían una extensión de 515 mil hectáreas,

Cuadro No 2. Principales concesiones para la explotación de los bosques de pino Caribe venezolano.

Empresas	Concesiones otorgadas	Referencia
<p>1972</p> 	<p>La empresa venezolana de capital privado MANPA adquirió concesiones, a partir de 1972, que alcanzaron 74 mil hectáreas de desarrollos forestales en los proyectos Imataca y Guayamure. En el año 2001 MANPA vendió el total de su División Forestal y traspasó 40 mil hectáreas de pino Caribe, localizadas en el estado Monagas, a Terranova® lo cual apuntaló la presencia de este consorcio suizo-chileno en el negocio maderero venezolano.</p>	<p>Plan Nacional del Sector Forestal (2013: 41). Manpa (2017)</p>
<p>1989</p> 	<p>En 1989 se estableció la empresa privada venezolana Productoras de Pulpas Soledad, Propulso, C.A., en la población de Soledad al Sur del estado Anzoátegui. Su producción, hasta el presente, es esencialmente de tableros de fibra de madera de alta densidad o HDF (High Density Fiberboard) con designación comercial de Chapaforte®.</p>	<p>Plan Nacional del Sector Forestal (2013: 70).</p>
<p>2002</p> 	<p>Para el año 2002 el grupo chileno Pathfinder vendió el control de Masisa® a la empresa suiza Forestal Terranova®. De esta forma Masisa® se convirtió en el principal holding de empresas, que explotan los bosques de pino Caribe venezolano, encabezado por Terranova de Venezuela, C.A., y constituido por Fibranova, C.A., Corporación Forestal Imataca, C.A., Andinos, C.A., Corporación Forestal Guayamure, C.A. y Oxinova, C.A. (línea de adhesivos).</p>	<p>Saavedra (2013).</p>
<p>---</p>	<p>---</p>	<p>---</p>

Fuente: Elaboración propia.

Continuación cuadro No 2. Principales concesiones para la explotación de los bosques de pino Caribe venezolano.

<p>2014</p> 	<p>Trillium de Venezuela procesó 80 mil metros cúbicos de madera aserrada de pino Caribe para su empleo como materia prima en la fabricación de otros productos finales que ellos elaboran, tales como puertas, machihembrado de techos y espacios interiores para las construcciones de la <i>misión vivienda Venezuela</i>.</p>	<p>Trillium (2016).</p>
<p>1997- 2015</p> 	<p>Masisa® obtuvo en concesión, entre los años 1997-2015, 93.333 hectáreas de bosques de plantación en Venezuela; el 47,13% de un total de 198.021 hectáreas boscosas que explotan en América Latina. Esta cifra sobrepasa con creces a las que controla en los otros países donde concesionan bosques de plantación que son: Chile (49.308 hectáreas), Argentina (47.639 hectáreas) y Brasil (7.741 hectáreas).</p>	<p>Masisa (2016: 10), Saavedra (2013).</p>
<p>2014</p> 	<p>Mediante el Decreto No 2.047, publicado en la Gaceta Oficial No 40.762 del 07 de octubre de 2015, se crea la empresa del Estado denominada Corporación Socialista de Economía Forestal, C.A. El 3 de abril de 2014 fue inaugurado el Complejo Industrial Maderero Libertadores de América (CIMLA) ubicado en Monagas.</p>	<p>Rojas, (2014: 1).</p>

Fuente: Elaboración propia.

con un ritmo de crecimiento de 25 mil ha/año; para 2015 debieron haber rebasado el millón de hectáreas y la realidad está muy distante de alcanzar esta cifra (Cuadro No 3).

Cuadro No 3. Datos relacionados con el decrecimiento de los bosques de pino Caribe venezolano en posesión del Estado venezolano para el año 2003.

Años	Area de bosque (Miles de hectáreas)	Causa del decrecimiento	Referencia
1972/1976	40	Concesión a la empresa Manpa [®]	Plan Nacional del Sector Forestal, (2013: 42).
1980/1990	30	Incendios forestales	
1994/1997	30	Sequía por el fenómeno El Niño	Plan Nacional del Sector Forestal, (2013: 40).
1997	59	Concesión a la empresa Terranova [®] por CVG-Proforca	
1992/2003	65	Explotación con fines comerciales por parte del Estado venezolano	

Fuente: Elaboración propia.

La intención de continuar desarrollando los bosques ha sido evidente. El Programa de Desarrollo Forestal-Prodefor III ha buscado incrementar las áreas plantadas en 100 mil hectáreas en un período de cinco años. No se han dado a conocer datos oficiales pero en vez de esto el crecimiento de los bosques ha continuado disminuyendo.

El Ministerio de Industrias Básicas y Minería, a través de la CVG, dio a conocer, para finales del año 2010, el Plan de Inversión (Cuadro No 4) con los costos previstos de mantenimiento, desarrollo y generación de la planta industrial en torno a las plantaciones de pino Caribe. Las cifras sobrepasaron 839,6 MM de US\$.

El 26 de noviembre de 2011 fue publicado en la Gaceta Oficial No 6.058 el Decreto No 8.609 mediante el cual fue creado el Ministerio del Poder Popular de Industrias Básicas de Venezuela, se designó como titular a José David Cabello. Quedaron adscritas a este ente la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) y la recién creada Empresa Socialista Maderas del Orinoco.

A partir del 2012, año de la creación de la Empresa Socialista Maderas del Orinoco y PULPACA, fue mencionado el establecimiento de seis complejos agroindustriales para aserrar madera y obtener cortes comerciales en la parte Sur de Anzoátegui y Monagas, una planta para generación de tableros de fibras orientadas y otra planta de bioenergía (pellets). Tales metas no han sido concretadas.

Fue ofrecido, sin que hasta ahora se haya concretado, la creación de la planta física necesaria para la construcción de 50 mil viviendas anuales con madera.

Según el Decreto No 2.357 publicado en la Gaceta Oficial No 40.931 del 22 de junio de 2016; fue oficializada la creación del Ministerio del Poder Popular de Industrias Básicas, Estratégicas y Socialistas; para cuya titularidad había sido designado desde el 18 de abril de ese mismo año el economista Juan Arias. Quedaban adscritas a este nuevo ente las empresas forestales y los bosques de pino Caribe en manos del Estado venezolano.

En el caso general de la explotación forestal de coníferas para obtener cortes comerciales de madera, mediante un proceso de clasificación y aserrado, existe un desperdicio de aproximadamente 30% y en el caso específico del pino Caribe aumenta a 35% (Contreras, 1999). Los bosques de pino Caribe de la Orinoquia cuentan con un potencial productivo anual de 2 millones de metros cúbicos de madera rolliza, por lo que se generaría un desperdicio de 600 mil a 750 mil metros cúbicos/año, que hasta ahora es aprovechado principalmente para la fabricación de tableros. Mientras tanto, en el país existe una carencia de la planta industrial para reconvertir la materia prima constituida por esa cuantía de residuo y obtener cortes comerciales que abastezcan la fabricación de componentes estructurales para procesos edificatorios.

Cuadro No 4. Plan de Inversión Forestal 2010.

Objetivo	Descripción de la meta propuesta	Inversión MM US\$	Parámetros de producción a alcanzar
En ejecución			
Crecimiento de los bosques	Garantizar materia prima para la industria maderera instalada al Sur de los estados Monagas y Anzoátegui	23	Reponer 20.000 ha/año de plantaciones de pino Caribe
Producción de viveros	Obtener semillas de pino genéticamente mejoradas	3.1	2.500 Kg/año
En promoción con inversionistas privados			
Producción de componentes para viviendas	Producir machihembrado para techos y puertas	48.3	10.000 kits/año
Planta de aserrió	Producir cortes comerciales de madera aserrada	35	170.000 tm/año
Planta de Tableros	Fabricar tableros de MDF (Medium Density Fibreboard) y tableros aglomerados PB (Particle Board)	118	410.000 m ³ /año tableros aglomerados y 60.000 m ³ /año de madera aserrada
Planta de Pulpa y Papel	Producir pasta mecánica, pasta química, papel prensa y otros derivados industriales	513.2	300.000 tm/año de pulpa mecánica y de blanqueo, 300.000 tm/año de papel
Oportunidades de inversión			
Desarrollo de plantaciones forestales	Incorporar 100.000 nuevas hectáreas de pino Caribe para abastecer la industria química y mecánica de la madera	62.5	3.3 MM m ³ /año de madera a partir del año 2008
Carpintería industrial	Contribuir con productos para el equipamiento de viviendas, molduras, puertas, ventanas y muebles	35	170.000 tm/año de madera aserrada
Proyecto Zonas Especiales de Procesamiento Industrial (ZEPI)	Fabricar productos terminados utilizando pino Caribe como materia prima, para atender mercado nacional e internacional. Contempla una incubadora de empresas de innovación tecnológica.		No existen datos

Fuente: Extraído con fines didácticos de: CVG (2016). Trillum (2012).

Cuadro de elaboración propia.

La madera laminada. Una conceptualización

Robles y Echenique-Manrique (1983) definen que “La técnica de la madera laminada encolada consiste en formar elementos estructurales de grandes dimensiones uniendo piezas de madera relativamente pequeñas por medio de algún adhesivo” (Robles y Echenique-Manrique, 1983: 62).

Las definiciones que determinan la cantidad de láminas o el grosor de las mismas (que lo fijan en un grosor determinado, por ejemplo: 5 cm) que componen al elemento ya terminado no son acertadas. Un componente estructural de madera laminada puede estar constituido por cualquier cantidad de láminas y el espesor de cada una de ellas también puede ser

variable (Figura 2), dependiendo estos factores de la especie maderable, de las dimensiones del elemento a fabricar, del espacio del cual se dispone para su manufactura y del grado de especialización y las maquinarias con los cuales cuenta el personal destinado para su fabricación. Es así que se podría definir a la madera laminada de calidad estructural (Figura 3) como el resultado de un proceso de manufactura industrial que conlleva a la obtención en taller de elementos mediante “la unión de tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con su fibra en la misma dirección” (Pérez, 1992: 6).



Figura 2. Elementos de madera laminada encolada.



Figura 3. Espacio resuelto con elementos estructurales de madera laminada encolada.

Fuente: Extraída con fines didácticos de <http://www.greenbuildingfactory.com/es/capabilities/estructuras-madera-armada>

Las piezas aserradas y cepilladas que conforman la madera laminada estructural pueden ser unidas en posición horizontal o en posición vertical (Figura 4). El componente fabricado – en posición horizontal o vertical– puede estar constituido por una sola lámina o por dos y más láminas.

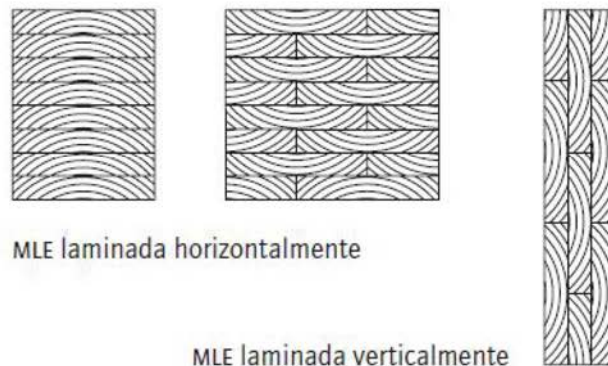


Figura 4. Elementos de madera laminada encolada en posición horizontal y vertical.

Otra condición que se debe considerar es la unión transversal de las láminas (Figura 5). Estas uniones se utilizan cuando la longitud de la lámina de madera a encolar es inferior al elemento de madera laminada a fabricarse. Lo más sencillo es hacerla a tope, y en la práctica la más empleada es la unión dentada o «finger joint». Otras uniones son scarf joint y hooked-scarf joint (Pérez, 1992: 31).

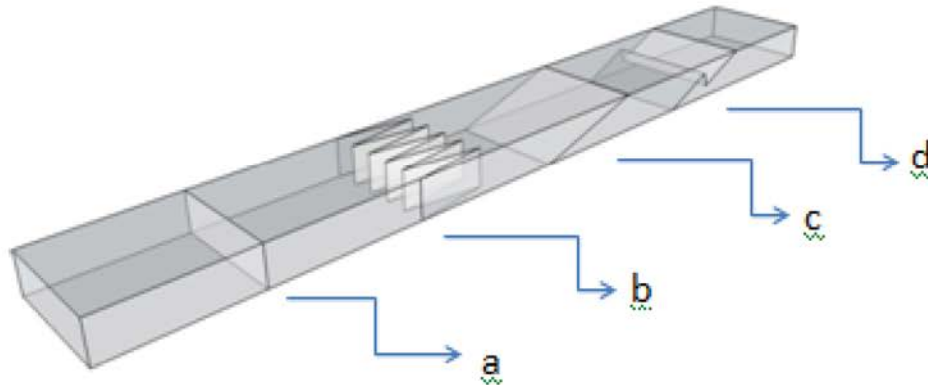


Figura 5. Tipos de uniones transversales empleados para conformar la madera laminada encolada.

a) A tope, b) Finger joint, c) Scarf Joint y d) Hooked-scarf joint

Fuente: Elaboración propia con base en Pérez (1992: 31).

Las especies más usuales para la fabricación de elementos de madera laminada estructural “son las especies de coníferas picea, abeto, pino y alerce, aunque también se pueden utilizar especies de frondosas como el haya, fresno, roble, castaño, eucalipto o chopo” (Schickhofer, 2013).

Antecedentes de la madera laminada en la construcción

En 1890 se emplearon, por vez primera, vigas con madera laminada encolada utilizadas como elementos rectos horizontales de 10 metros de largo, en la construcción del edificio del Reichstag (Rhude, 1999: 29). Otra innovación fue alcanzada en 1906, en la ciudad alemana de Weimar, el maestro carpintero Karl Friedrich Otto Hetzer (1846-1911), hizo realidad la idea de encolar láminas de pequeñas dimensiones y adherirlas con pegamento de caseína para fabricar arcos que quedaron registrados en la patente No 197773. En la Exposición de Bruselas de 1910 fue levantada por Hetzer una estructura de arcos con madera laminada de 43 metros de luz, sin apoyos intermedios, diseñada por el arquitecto Peters Behrens para la empresa de Ferrocarriles Alemanes (Wilhelm y Jacob-Freitag, 2015: 12). Gracias a la patente de Hetzer

la madera laminada empezó rápidamente a alcanzar un alto prestigio y para 1920 en Suiza unas doscientas edificaciones disponían este tipo de estructuras (Rhude, 1999: 29). Fue en ese país donde se creó la primera empresa, la Compañía Töreboda que comenzó a construir estructuras con madera laminada a partir de los años 30 (Schmitt, 1978: 434).

Los conocimientos alcanzados en Europa con la tecnología de madera laminada estructural llegaron a Estados Unidos como consecuencia de la actividad profesional del arquitecto Max Hanisch, quien emigró a ese país en 1923 con la intención expresa de dar a conocer las innovaciones y patentes de Otto Hetzer. Tal cometido fue alcanzado con el proyecto de arcos para la estructura de una escuela y un gimnasio en Peshigo, Wisconsin, en 1934. No obstante, por falta de permisos no se logró construir sin añadirle pernos y refuerzos que eran innecesarios (Rhude, 1999: 29). Un nuevo intento, en ese mismo año, logró que fuera erigida la primera edificación solucionada con marcos triarticulados: el Laboratorio de Productos Forestales en Madison, Wisconsin (Pérez, 1992: 3).

En Venezuela no hay ejemplos significativos de construcciones donde la madera laminada de calidad estructural se haya aplicado con los criterios que la caracterizan como una tecnología innovadora. Aún más: debieron transcurrir treinta años, desde la experiencia de Wisconsin, para que en Venezuela se fabricara una primera estructura con las técnicas de la madera laminada estructural. A partir de entonces, se han generado muy pocas experiencias que demuestran que el país ha desaprovechado los recursos forestales que posee para apropiarse de las innovaciones tecnológicas y constructivas con madera laminada estructural (Cuadro No 5).

Cuadro No 5. Experiencias venezolanas construidas con madera laminada estructural.

Año/ lugar	Diseñador/ empresa	Descripción de la experiencia	Condiciones actuales	Referencia
1963 Mérida	Van der Slooten	Arcos laminados de samán de 28 m de longitud,	Buen estado de conservación	Barrios, Sosa y Contreras, 2007: 81 Páez, 2008: 68
1968 Mérida	Adolfo Gardner	Cubiertas de viviendas en la Urb. San José	Han perdido su adherencia original	Owen y Contreras, 1999 Páez, 2008: 68
1970 Valencia	Empresa privada	Vigas de madera laminada adheridas con caseína	Fracaso en la experiencia	Owen y Contreras, 1999
Mérida	LNPF*	Vigas laminadas rectas del Hotel Páramo la Culata (hall)	Buen estado de conservación	Barrios et al., 2007: 81

Fuente: Elaboración propia.

*Laboratorios Nacionales de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes en Mérida-Venezuela.

Continuación de cuadro No 5. Experiencias venezolanas construidas con madera laminada estructural.

1997 Caracas	Prof. Jesús Conejos	Arcos laminados con pino Caribe, para la cúpula del Teatro Municipal de Caracas.	Buen estado de conservación	Barrios et al., 2007: 81
1999	Empresa universitaria Estran (IDEC-FAU-UCV)	Arcos laminados con madera de zapatero	Los arcos perdieron su adherencia	Páez, 2008: 68
1999 Puerto Ordaz	Empresas Kondor, C.A.	Estructuras para viviendas unifamiliares	Los elementos estructurales se han delaminado.	Páez, 2008: 145
2003 Colonia Tovar	Arq. Ricardo Echeto	Cerchas a dos aguas de la cubierta para el Auditorio Freddy Reyna	En servicio y buen estado de conservación	Seijas, 2016

Fuente: Elaboración propia.

*Laboratorios Nacionales de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes en Mérida-Venezuela.

En países de Europa, Norteamérica y naciones latinoamericanas como Chile, Ecuador, Colombia, Brasil, Costa Rica y México –entre otros– la madera laminada es un claro ejemplo de la aplicación de los más avanzados conocimientos y expresión de las innovaciones estéticas y estructurales de la reconversión de las especies forestales en estructuras para procedimientos edificatorios; mientras que en el ámbito nacional venezolano existe un alejamiento de las buenas prácticas edificatorias con madera laminada estructural. Ello a pesar de que en el país se dispone de un recurso forestal abundante que puede surtir de materia prima a la industria de la construcción.

Materiales y Métodos

La presente investigación es de tipo descriptiva y evaluativa. La metodología aplicada conlleva a analizar y contrastar los diferentes sistemas de estructuras fabricados con madera laminada, para determinar un modelo de arco como elemento portante que simplifique las actividades industriales de producción, transporte, pre-ensamblado, montaje, aprovechamiento, transformabilidad, deconstrucción y reciclaje; que justifique, a su vez, los principios de desarrollo tecnológico ecosustentable basados en la aplicación de la madera laminada de pino Caribe.

Se describen comparativamente las condiciones físico-mecánicas de los sistemas estáticos que tienen como punto de partida la columna, luego la respuesta de los modelos apoyados en vigas rectas horizontales y su respuesta a las sollicitaciones estáticas con otras modalidades de sustentación que generan condiciones de equilibrio estable al construirse con madera laminada.

Partiendo de la presentación de algunos ejemplos internacionales se enumeran las condiciones estructurales y evalúan los factores que fijan el predimensionamiento de los componentes fabricados con madera laminada estructural.

Resultados y Discusión

Han transcurrido 111 años desde la innovación tecnológica de Otto Hetzer con arcos laminados en Alemania y aún no se instala en Venezuela la planta industrial para reconvertir, en estructuras para soluciones edificatorias, la materia prima forestal que el país posee en abundancia. De ese período el país tiene más de medio siglo en capacidad de aprovechar la madera de los bosques de pino Caribe de mayor extensión del mundo. Tal como será analizado seguidamente no es suficiente contar con las ventajas naturales que proporciona la posesión de esta extensión boscosa. Un bosque se aprovecha y explota o, en el mejor de los casos, generará cuantiosas pérdidas financieras en su cuidado y mantenimiento.

Estudio comparativo de los sistemas estáticos con madera laminada estructural

El elemento estructural básico que soporta eficientemente los esfuerzos de compresión es la columna. En ellas la altura es mayor a las dimensiones de la sección transversal (cuadrada, rectangular, circular u otras). Luego de las columnas los elementos estructurales que responden más eficientemente a los esfuerzos de compresión son los arcos.

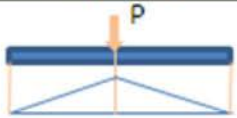

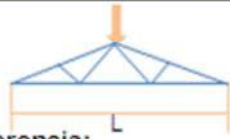

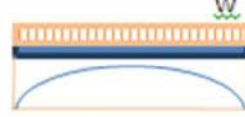



Un arco, de acuerdo con Torroja (1976), es lo más parecido a una columna. Sin embargo, esto no es en sí una regla incondicional que describe la respuesta estática de todos los arcos; a excepción del arco semicircular, llamado en el argot de arquitectos y constructores como “de medio punto”. Mas, un arco debe responder eficientemente a solicitaciones de flexo-compresión y para ello se deben considerar, de acuerdo con Diez, (2005), algunos factores tales como “los materiales que trabajan a compresión, como piedras, hormigón, cerámicos (rígidos), y la importancia de la sección transversal debida al riesgo de pandeo” Es así como un “arco estará solicitado a compresión por las cargas permanentes y a flexión debido a cargas accidentales, es decir flexo-compresión” (Diez, 2005: 128).

Existe una analogía entre los diagramas de momento flexionante de una viga recta horizontal con sistemas estructurales curvos que podrían ser establecidos como estructuras portantes alternativas. Por ejemplo, una viga recta horizontal simplemente apoyada en los extremos con carga concentrada P genera un diagrama de momento flexionante de configuración geométrica triangular. De igual modo cuando la misma viga es sometida a una carga W uniformemente repartida genera un diagrama de momento flexionante que responde

a un trazo de arco parabólico (Cuadro No 6).

Este efecto no solo se presenta en los casos de momentos flexionantes de las vigas rectas horizontales con apoyos libres en los extremos para cargas concentradas en el centro de la luz o cargas uniformemente repartidas. Páez (2015), señalaba la similitud en los tipos estructurales obtenidos con diagramas de momentos flexionantes de vigas horizontales con empotramiento en los apoyos extremos, que generan modelos estructurales que se han empleado en soluciones de puentes para grandes luces con estructuras metálicas (Figura 6); y, a su vez, cuando las vigas rectas con apoyos libres y un voladizo en uno de los extremos; esta última, que genera modelos muy estables con aplicación en pasarelas y otras soluciones estructurales.

Cuadro No 6. Comparación entre los diagramas de momentos flexionantes de una viga recta horizontal simplemente apoyada en los extremos y su analogía con sistemas estructurales construidos con madera laminada.

Carga concentrada en un solo punto		Estructura análoga	
Diagrama de momento	Ejemplo constructivo	Cercha	Ejemplo constructivo
 <p>Referencia: Parker², 1982:73</p>		 <p>Referencia: Parker², 1982:73</p>	
Carga uniformemente repartida		Estructura análoga	
Diagrama de momento	Ejemplo constructivo	arco parabólico	Ejemplo constructivo
 <p>Referencia: Parker², 1982:73</p>		 <p>Referencia: Páez, 2015:78</p>	

Referencias indicadas.

Fuente: Elaboración propia.

Algunos de los sistemas estructurales, que soportan una edificación en condiciones de equilibrio estable, construidos con materiales tradicionales (concreto armado, madera maciza o metales como el acero o aluminio) responden a un predimensionamiento comparativo (Cuadro No 7) en el que intervienen dos variables físicas espaciales a considerar: la luz o distancia libre (L) entre los apoyos vs. el peralte (H) que es la altura de la sección transversal del elemento estructural empleado.

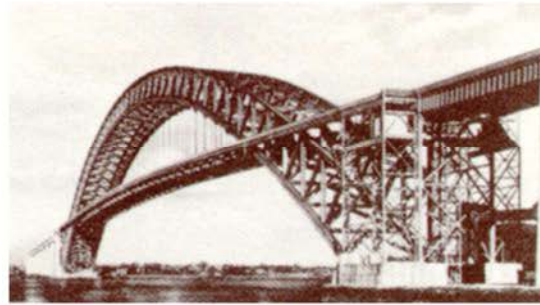
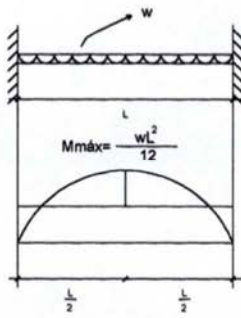







Figura 6. Analogía entre la representación del diagrama de momento flexionante de una viga horizontal empotrada en los extremos y la estructura empleada por Ammann & Cass, en 1931, en la solución del puente metálico de Bayonne para salvar una distancia grande entre los apoyos.

Fuente: Extraído con fines didácticos de Páez, 2015: 74.

Cuadro No 7. Predimensionamientos comparativos de algunos sistemas estructurales.

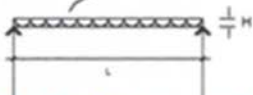






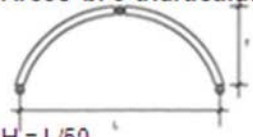

Componente Estructural Vs. peralte (H)	Luces (metros)							
	10	20	30	40	50	70	100	+500
Vigas concreto armado  H = 10% luz - 10 cm	[Bar]							
Cerchas metal o madera  H = ≤10% luz	[Bar]							
Arcos concreto armado  H = variable segun el uso					[Bar]			
Tridilosas  H = estructura ligera					[Bar]			
Cúpula Geodésica  H = estructura ligera					[Bar]			

Referencias: Schmitt, 1978: 436

Fuente: Elaboración propia.

Los componentes estructurales con madera laminada encolada responden a predimensionamientos que fueron establecidos mediante ensayos (Cuadro No 8). En el caso de salvar una distancia entre los apoyos de los extremos de una edificación sin apoyos intermedios existen –entre otros- los modelos estructurales de arcos bi y triarticulados con los que se logra un menor peralte de la sección transversal comparados con vigas rectas horizontales. Con ellos se han construido edificaciones emblemáticas que dan muestra del nivel de evolución tecnológica al ocupar la madera laminada con calidad estructural. Dos ejemplos se logran enumerar: el Pabellón Utopía de Portugal, fabricado para la Expo-Lisboa'98 (Figura 7); una estructura de arcos triarticulados con 125 metros libres de distancia máxima entre sus apoyos. La otra experiencia es el Pabellón de Hamar para las Olimpiadas de invierno (Figura 8) con una estructura formada por una cercha curva longitudinal de 260 metros y cerchas curvas transversales de 96.4 metros de luz máxima (Rodríguez, 1999: 68).

Cuadro No 8. Predimensionamientos comparativos de algunos sistemas estructurales con madera laminada.

Componente Estructural Vs. peralte (H)	Ejemplo construido	Luces (metros)							
		10	20	30	40	50	60	70	+100
Vigas horizontales libremente apoyada sección uniforme  $H = L/17$ (L/20 si es continua)			█		█				
Vigas sección variable  $H = L/30$			█						
Marco bi o triarticulado  $H = L/25$			█	█	█	█			
Cerchas curvas $H = \lll L/50$			█	█	█	█	█	█	
Arcos bi o triarticulados  $H = L/50$			█	█	█	█	█	█	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Pabellón Utopía.

Fuente: Rodríguez, 1999: 185

<https://arqmodernalisboa.wordpress.com/author/arqlisboeta/>

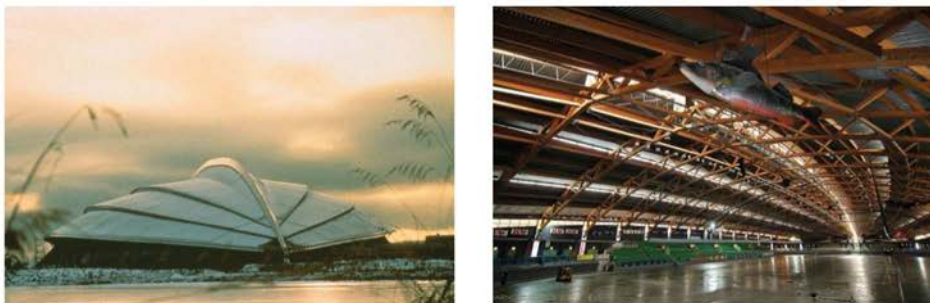


Figura 8. Pabellón Olímpico de Hamar.

Fuente: Pinterest.com

A partir de la viga recta horizontal de sección uniforme, libremente apoyada sobre columnas verticales en cada uno de los extremos (sistema de marcos); existen otros veinte tipos diferentes y predimensionados de sistemas estáticos con madera laminada estructural (Pérez, 1992: 120; AITIM, 1994: 389); sin embargo, se puede observar que los arcos bi y triarticulados (de configuración semicircular, parabólica o semielíptica poseen ventajas intrínsecas como son:

- Alcanzan a cubrir mayores luces sin apoyos intermedios
- Poseen los peraltes más bajos: viga recta: $H = 1/17L$ vs. arcos bi y triarticulados: $H = 1/50L$ (Cuadro No 8).

Por estas razones, en la fabricación de arcos, se requiere menor cantidad de material comparado con los otros medios de sustentación estudiados, para erigir estructuras que permiten salvar luces más grandes, por lo que no es difícil inferir que se ven reducidos los gastos de obra inherentes a trazos, nivelación, excavaciones, encofrados, habilitación de acero, concreto en fundaciones, desencofrado, y otros.

Cuando estos sistemas estructurales se fabrican con madera laminada encolada se presentan dificultades caracterizadas por el tamaño y peso volumétrico del componente en

sí, por lo que es imprescindible establecer un modelo estructural que simplifique las labores en taller: de producción, pre-ensamblado y transporte; y en sitio: las labores de montaje, ocupación, transformabilidad, deconstrucción y reciclaje; para luego reiniciar nuevamente el ciclo de montaje de la estructura una vez reciclada, y así sucesivamente, que justifique los principios de desarrollo tecnológico ecosustentable basados en la aplicación de la madera laminada de pino Caribe.

Justificación geométrica para la selección de una propuesta de arcos fabricados con madera laminada estructural con tecnología ecosustentable

Los principios que determinan la propuesta de fabricación de arcos con madera laminada estructural para una arquitectura ecosustentable tienen –entre muchas otras– una justificación de tipo geométrica.

Un arco semicircular, por mencionar un caso, presenta una condición geométrica: la altura desde el piso terminado hasta el punto más alto de la curva, que es designada como la flecha f del arco, corresponde al radio de la circunferencia (o lo que equivale a la mitad de la longitud L o distancia entre los apoyos). En el caso de los arcos de algunas parábolas y arcos ojivales la distancia entre los apoyos se reduce mientras que la flecha desde el nivel de piso terminado hasta la cresta de la curva se eleva aún más.

La evolución histórica de edificaciones con soluciones estructurales curvas ha conllevado a que los constructores seleccionen otros modelos de arcos, en aras de salvar grandes luces haciendo que la distancia entre los apoyos sea un eje mayor, a la vez que logran reducir la flecha del arco y lo traducen en un semieje menor. De tal forma que los arcos semicirculares han sido reconvertidos por los diseñadores y calculistas en arcos configurados como parábolas, semielipses y arcos carpaneles. Estos, al ser diseñados para madera laminada estructural, llegan a tener una configuración libre. Entre los modelos de arcos geométricos predefinidos (semicircular, parábolas, semielipse y carpanel) el arco carpanel de tres, cinco o más centros (siempre en cantidad impar) representa una opción viable para cumplir con la exigencia de cubrir una determinada distancia entre los apoyos sin que se pierda la continuidad de la curva al elevar o disminuir la flecha o altura central del arco (Páez, 2002: 86).

El arco carpanel ha sido el que mejor se ha adaptado ante el reto de cubrir grandes luces sin apoyos intermedios, que rebasan los 100 metros o más de distancia entre los apoyos y con estructuras con madera laminada donde no se eleve exageradamente la flecha de los componentes estructurales; los arcos han evolucionado hacia una configuración de curvas de

semióvalos.

El arco carpanel, como arco de tres centros, cumple con el método de trazo de un óvalo (Figura 9). A partir de éste existen distintos procedimientos para obtener arcos carpaneles. Sánchez (2011), describe, entre varios otros, un método general para el trazo de arcos carpaneles con cualquier cantidad (n) de centros (Figura 10).

El arco carpanel admite al seccionamiento de la estructura en porciones de curvas de forma simétrica con respecto a un eje central; que cuando es triarticulado lleva una articulación en el centro. Si el arco es de tres centros (Figura 9) se obtienen las siguientes curvas idénticas A-T=V-B; así como las porciones T y V con la articulación central, respectivamente, que son también de iguales medidas entre sí.

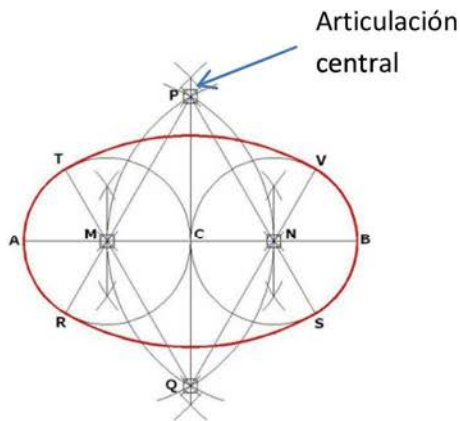


Figura 9. Resultado del trazo del óvalo dado el eje mayor.

Fuente: <http://perla-vargas.blogspot.com/>

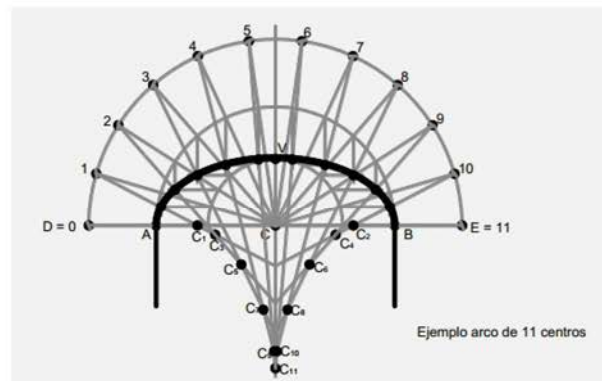


Figura 10. Resultado gráfico del trazo de un arco carpanel de 11 centros.

Fuente: Sánchez, 2011: 46

Geoméricamente un arco de semielipse y un arco de semióvalo presentan pocas diferencias. Si se mantienen constantes para ambas tipologías los valores de eje mayor (como la distancia entre los apoyos en cada uno de los extremos) y el semieje menor o flecha (que es la altura desde el nivel de piso terminado hasta el centro de la curva), son muy similares los siguientes parámetros: longitud de curva, curvatura y área bajo la curva. La diferencia fundamental consiste, por lo tanto, en que un óvalo es una figura que solo requiere para su representación trazos con regla escuadra y compás mientras que una elipse es una cónica representada gráficamente mediante una ecuación geométrica.

Al compararlo con otros modelos de arcos similares un arco carpanel, basado en la

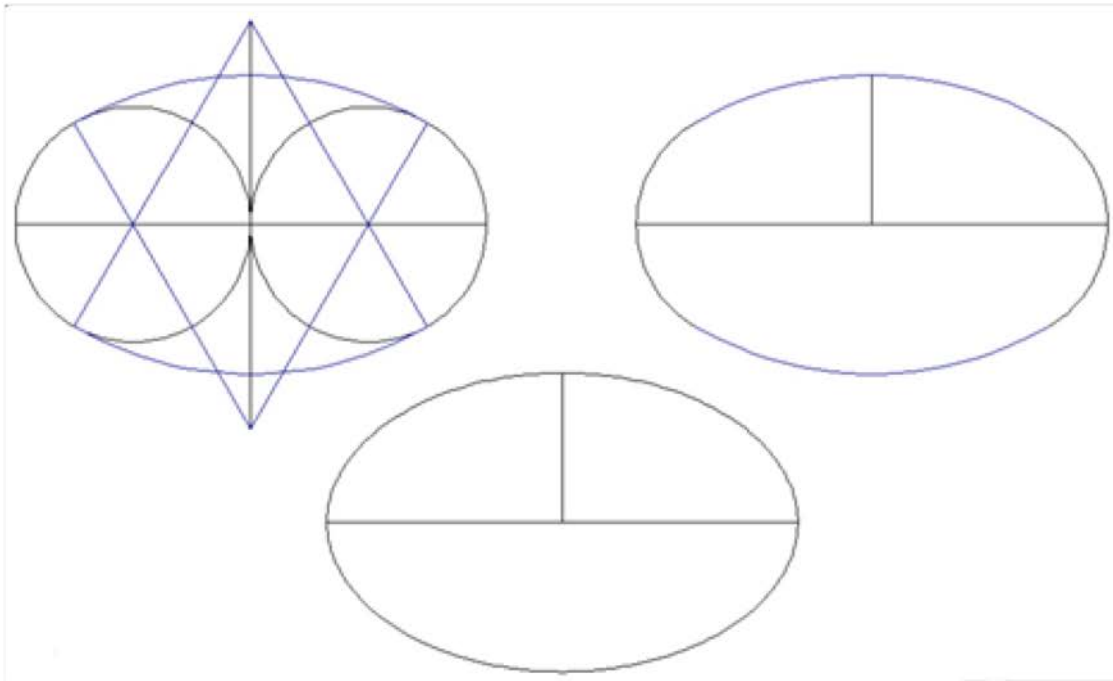


Figura 11. Óvalo trazado como una curva cerrada de tres centros (arriba) y elipse con los mismos valores de eje mayor y semieje menor (debajo).

Fuente: elaboración propia.

geometría de un semióvalo, como curva de tres o más centros, posee características esenciales que denotan su superioridad cuando es fabricado con madera laminada estructural, a saber:

No requieren imprescindiblemente ser fabricados como una sola pieza ya que el arco carpanel parte del trazado de un óvalo que desarrolla siempre segmentos de curvas simétricas. Pueden seccionarse los arcos en la misma cantidad de curvas de circunferencia en las que se subdivide el trazo geométrico que lo origina. Por ende no requieren ser fabricados con madera laminada como una pieza monolítica, sino que el seccionamiento facilitaría las tareas de conformación y prensado en taller, transporte y disminución de los tiempos para montaje en sitio.

En el caso del arco de tres centros estas serían las porciones de semicurvas en las cuales se subdivide y la función dentro de la longitud de curva total del componente estructural:

Circunferencia de los apoyos del arco: Cada uno de los apoyos en los extremos del arco requiere menos de $\frac{1}{4}$ de circunferencia, ubicada en cada uno de los extremos, para su moldeado y prensado, los cuales se pueden fabricar de forma simultánea (Figura 12). De esta forma una única actividad de prensado producirá como mínimo los cuatro apoyos para dos arcos.

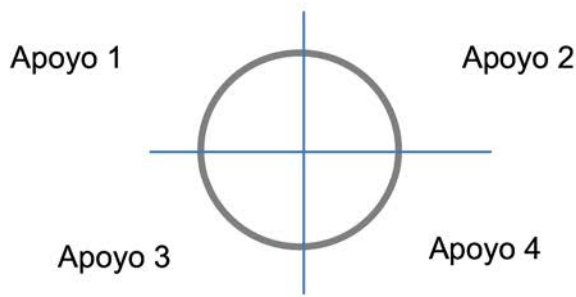


Figura 12. Propuesta geométrica para obtención de apoyos para un arco carpanel a partir del seccionamiento de una circunferencia en cuatro partes iguales.

Fuente: elaboración propia.

Segmento de curva central del arco: El segmento de curva central del arco carpanel se obtiene al seccionarse en cuatro partes iguales (curvas A-B-C y D) una circunferencia de mayor diámetro (Figura 13) que se genera al completar el trazado del óvalo. Adicionalmente otras dos porciones de curva central (curvas E y F) se logran también obtener en la parte interna de la circunferencia de mayor diámetro (Figura 14).

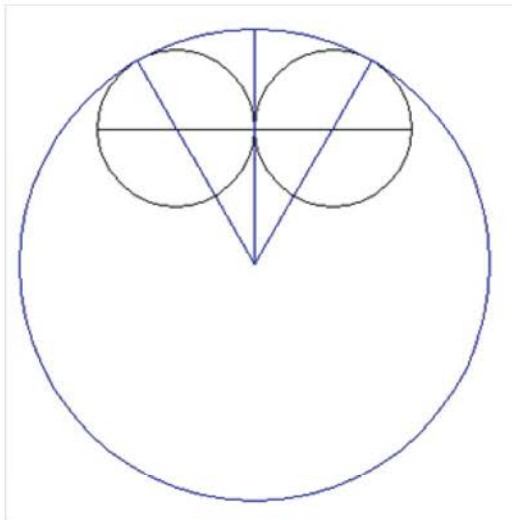


Figura 13. Circunferencia de mayor diámetro para un arco carpanel.

Fuente: elaboración propia.

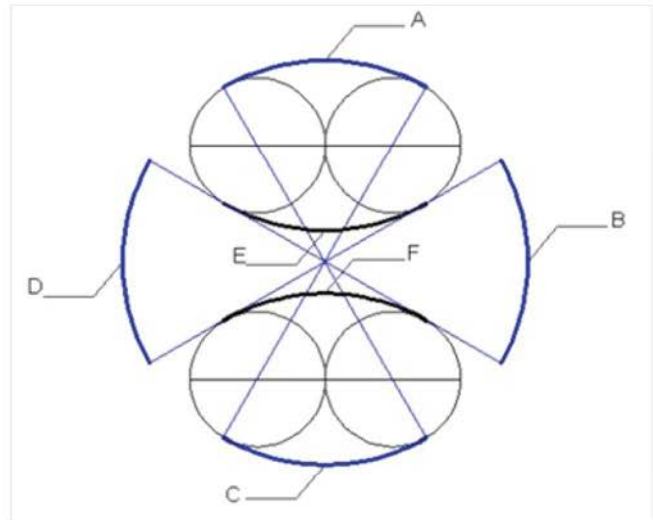


Figura 14. Seccionamiento de la circunferencia de mayor diámetro en partes iguales para un arco carpanel.

Fuente: elaboración propia.

Tecnología para una arquitectura ecosustentable

Las innovaciones tecnológicas en el campo de los conocimientos de la arquitectura avanzan hacia la implantación de modelos constructivos que garanticen una disminución del impacto ambiental de las edificaciones.

Hildebrant (2015) establece que la arquitectura ecosustentable es un concepto que engloba un conjunto de medidas que garantizan la preservación de las condiciones geográficas (clima, hidrografía y los ecosistemas que rodean la edificación), aprovecha materiales locales,

se surte de fuentes de energía renovables lo que se traduce en un ahorro en el consumo de energía artificial y gestiona ecológicamente los desechos.

Rodríguez (1999) indica que el Análisis de Ciclo de Vida de los materiales está definido como “la estimación de todos y cada uno de los impactos ambientales que pueda generar desde la obtención de las materias primas en que se basa, pasando por los recursos y energía empleados en su producción y/o proceso, y llegando hasta el final de su vida útil y potencial reciclada” (Rodríguez, 1992: 21). Esta es uno de los factores más determinantes en lo que respecta a la apropiación de una tecnología como lo es la de madera laminada estructural que contempla “una conciencia de carácter ecológico, que ha llevado a una creciente valoración de las implicaciones ambientales de cualquier producto de la actividad humana” (Rodríguez, 1992: 21).

Los procedimientos industriales para la producción de componentes estructurales con madera laminada generan menor cantidad de efectos contaminantes, en comparación con otros materiales como son los de origen pétreo: cemento, cal, yeso, arenas, vidrio y productos cerámicos; los metálicos: acero, hierro, aluminio, los derivados plásticos: pinturas, PVC, vinilos y los que comprenden a los de origen forestal: tableros y aglomerados. Cada vez se hace un mayor énfasis en sustituir los procesos que produzcan emanaciones de gases contaminantes, partículas sólidas y desechos sólidos. La madera laminada estructural comprende una tecnología para fabricar componentes que satisface los requerimientos de una arquitectura apegada a la protección del medio ambiente; que emplea como materia prima un material de origen forestal; en este caso el pino Caribe venezolano, sin alterar el equilibrio natural de los ecosistemas.

La tecnología de madera laminada implica un conjunto de procedimientos que no generan un impacto ambiental negativo y que, en el caso particular del pino Caribe venezolano, son mayores los riesgos de mantener un bosque sub utilizado, sin un manejo eficiente que genere la materia prima para las industrias de reconversión de materiales de origen forestal. Es importante considerar que el residuo en la explotación del pino Caribe está conformado por costaneras, también por piezas de madera de pequeños diámetros extraídas del leño juvenil, porciones afectadas por hongos o ataques de insectos xilófagos que dañan al árbol aun estando en pie y luego defectos físicos que son muy difíciles, por no decir imposibles, de erradicar (nudos, rajaduras, alabeos y otros). Hasta ahora los entes encargados de administrar los bosques no han encontrado qué hacer con tan alto desperdicio. Una alternativa a evaluar

sería la de reconvertir este cuantioso desperdicio, mediante tareas de clasificación, cortes y uniones, en componentes estructurales con madera laminada encolada para dar solución a las necesidades edificatorias del país. También es posible aprovechar esa porción del pino Caribe, que podría ser un lastre en el aserrado para obtener cortes comerciales, con una alternativa como la que se ha logrado en esta investigación al proponer un arco carpanel a modo de modelo estructural para una arquitectura ecosustentable.

Conclusiones y recomendaciones

La metodología empleada en la presente investigación permitió analizar la concepción del Estado venezolano para administrar los bosques de la Orinoquia. Una posesión que ha pasado por diversos entes oficiales, dirigidos por autoridades que han demostrado poco conocimiento del negocio forestal. La consecuencia no se ha dejado esperar: los bosques han reducido su extensión, se han realizado planes de inversión y dispuesto de ingentes recursos financieros y las metas no han sido alcanzadas. La madera de pino Caribe extraída no ha servido para proveer de materia prima a la industria de la construcción. No existe en el país un empresariado, ni la planta industrial para reconvertir ese recurso forestal en elementos estructurales de madera laminada estructural. Venezuela se encuentra alejada, casi por completo, de las soluciones con esta tecnología, que en otros países es una muestra de los más avanzados conocimientos tecnológicos de construcción y diseño de estructuras.

Ahora bien, la arquitectura ecosustentable constituye una de las premisas a considerar al momento de emplear a la madera de pino Caribe como materia prima en procedimientos edificatorios. Ésta se define como el conjunto de procedimientos edificatorios que aportan una solución constructiva respetuosa del medio ambiente; mediante la ocupación racional de materiales renovables, respetando los ecosistemas, construye sin desperdicios ni contaminación; que deconstruye y recicla, sin demoler ni generar desperdicios.

Resalta la importancia de seleccionar un componente estructural que permita aprovechar los principios de desarrollo tecnológico ecosustentable basados en la aplicación de la madera laminada estructural de pino Caribe. La respuesta podría estar en la selección de una tipología de arcos que sean geométrica y estáticamente superiores a los de viga recta y poste y dintel (marcos), ya que los arcos de configuración parabólica, elíptica y carpaneles poseen características favorables para el diseño, tales como: salvar grandes luces con componentes de bajo peralte y poco peso volumétrico. Estos arcos, por tanto, representan una respuesta tecnológica para solucionar necesidades edificatorias en los medios de ingeniería y construcción venezolanos.

Los arquitectos, diseñadores, ingenieros calculistas de estructuras y constructores ante la necesidad de desarrollar componentes fabricados con madera laminada con tecnologías que ocasionen bajo impacto ambiental han adoptado soluciones con arcos que permitan salvar grandes luces, sin apoyos intermedios; mediante sistemas estáticos de arcos carpaneles los cuales resuelven las dificultades iniciales de pre ensamblado-transporte-montaje, ya que el elemento estructural puede seccionarse sin debilitarse; para luego conectar las piezas seccionadas mediante mecanismos de conectores metálicos y pernos.

Entre las líneas de investigación que se derivan del presente estudio se encuentran las propuestas que analicen los modos de reconversión del pino Caribe venezolano, como recurso forestal ya existente, ante la carencia en el país de un parque industrial con la maquinaria adecuada y el personal altamente calificado para producir componentes estructurales curvos con madera laminada.

Otra línea de investigación conllevaría a que se estudien comparativamente los sistemas constructivos que se desarrollan en otros países de América y Europa, donde la tecnología de madera laminada estructural se realiza en medio de una marcada escasez de recursos forestales y adaptarla a los valores físico-mecánicos y características organolépticas del pino Caribe de la Orinoquia, para proponer sistemas constructivos que resuelvan las necesidades edificatorias que generen los espacios arquitectónicos que Venezuela requiere.

Agradecimientos

El autor agradece al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico – CDCH de la UCV por el otorgamiento de la Subvención Matrícula (Beca Nacional) No B-01-49-616-2015; que permitió realizar la presente investigación, dentro de los estudios de la Especialización en Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo FACES-UCV.

Bibliografía

- Barrios, E., Sosa, M., y Contreras, W. (2007). La experiencia venezolana en la fabricación de vigas laminadas encoladas. *Tecnología y Construcción*, 23(2) del IDEC-FAU-UCV, pp 75-88. Recuperado el 29/enero/2016 de http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-96012007000200005&lng=es&nrm=iso
- Contreras, W.; Owen de C., M. (1999) Análisis sobre la evolución de la madera laminada a través de su historia y su trascendencia para Venezuela en el siglo XX. *Revista Forestal Latinoamericana*, 25, pp. 47-62.
- CVG (2016). Corporación Venezolana de Guayana. Sector Forestal. Proyectos de Inversión en ejecución. Recuperado el 26/abril/2017 de <http://cvg.com/espanol/forestal.html>
- Diez, G. (2005). Diseño estructural en arquitectura. Buenos Aires. Nobuko. Recuperado el 3/abril/2017 de www.arqlibros.com/2016/05/disenio-estructural-arquitectura.html
- Hildebrandt® (2015). ¿Cuáles son los principios de una arquitectura ecosustentable? .Recuperado de <http://www.hildebrandt.cl/cuales-son-los-principios-de-la-arquitectura-sustentable/>
- Instituto de Planificación y Desarrollo (2003). Plan Nacional del Sector Forestal. Ministerio de planificación y Desarrollo. Recuperado el 26/abril/2017 de www.eumed.net/oe-ve/b3/PLAN%20NACIONAL%20FORESTAL.pdf
- Manpa® (2017). Somos más que papel. Recuperado el 26/marzo/2017 de <http://www.manpa.com.ve/>
- Masisa® (2016). Memoria anual. Informe integrado: financiero, social, ambiental. Recuperado el 26/abril/2017 de http://www.masisa.com/wp-content/files_mf/1433796935Digital_Masisa_2014_25.pdf
- _____ (2016). Información Corporativa. Recuperado el 26/abril/2017 de <http://www.masisa.com/inversionistas/informacion-corporativa/>
- Páez, R. (2002). Fundamentos geométricos del arco semielipsoidal. Trabajo Especial de Grado para obtener el Título de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción. (no publicado) Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- _____. (2008). Madera laminada de pino Caribe para estructuras sometidas a flexocompresión. Caso de estudio: el arco triarticulado y su aplicación en construcciones agroindustriales. Trabajo de ascenso (no publicado) para Profesor Asociado en el escalafón docente universitario de la Facultad de Agronomía de la UCV. Maracay.

- _____. (2015). La madera laminada de pino Caribe dentro del proceso de desarrollo sustentable de la construcción. Caso de estudio: arcos bi y triarticulados. Tecnología y Construcción 28-II del IDEC-FAU-UCV, pp. 64-83.
- Paiva, E. et al. (2014). Estadísticas Forestales. Anuario 2009 / 2010 / 2011 / 2012 / 2013/ Serie 13. Caracas. M.P.P. para Ecosocialismo y Aguas.
- Parker, H. (1982)1. Diseño simplificado de armaduras de techo para arquitectos y constructores, Biblioteca Simplificada de Construcción; Tomo 2; México, Limusa.
- _____.2. Ingeniería simplificada para arquitectos y constructores, Biblioteca Simplificada de Construcción; Tomo 4; México, Limusa.
- Pérez, V. (1992). Manual de madera laminada. Instituto Forestal- Corporación de Fomento de la Producción. Santiago de Chile.
- Reiche, C. y Ramírez, L. (1999: 14) Memorias de Los Cursos-talleres de Gestión Ambiental Y Evaluación de Impacto Ambiental. Maturín, Universidad de Oriente.
- Rhude, A. (1996). Structural glued laminated timber: History of its origins and early development. Recuperado el 16/abril/2017 de http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_3542_13160.pdf
- Robles, F. y Echenique-Manrique, R. (1983). Estructuras de madera. México. Editorial Limusa.
- Rodríguez, M. (1999). Diseño estructural en madera. Madrid. Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y el Corcho AITIM.
- Rojas, I. (2014). Inaugurado Complejo Industrial Madereros Libertadores de América en Monagas. Recuperado el 3/abril/2017 de <http://minci.gob.ve/2014/04/inaugurado-complejo-industrial-madereros-libertadores-de-america-en-monagas/>
- Saavedra, N. (2013). Apuesta Maciza. Recuperado el 28/abril/2017 de <http://www.capital.cl/negocios/2013/04/19/54516/apuesta-maciza>
- Sánchez, N. (2011). Geometría de los arcos. Guía para la construcción y trazado de arcos. Región de Murcia. Consejería de educación, formación y empleo.
- Schickhofer, G. (2013). Productos de madera para la construcción: productos lineales y superficiales, propiedades, medidas y aplicaciones', Proholz . Recuperado el 16/abril/2017 de [http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-\(MLE\).html](http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-(MLE).html)
- Schmitt, H. (1978). Tratado de Construcción. Barcelona: Gustavo Gili.
- Seijas. (2016). Omar Seijas, Arquitecto. Memoria Descriptiva: Auditorio Fredy Reyna. El espacio

arquitectónico interior. Recuperado el /abril/2017 de <http://omar-seijas.es.tl/AUDITORIO-EN-LA-COLONIA-TOVAR.htm>

Torroja, E. (1976). Razón y ser de los tipos estructurales. Madrid. Editado por Instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento.

Trillium (2016). Forestal Trillium de Venezuela ¿Qué hacemos? Recuperado el 26/abril/2017 de <http://www.forestal-tdv.com/quehacemos.php>

Wilhelm, L y Jacob-Freitag, S. (2015). New architecture in wood: forms and structures. Birkhauser. Basilea. Recuperado el 23/abril/2017 de <https://books.google.co.ve/>