

Sistema estructural de marco portante para edificaciones con madera, Araguaey-I

Supporting frame structural system for buildings with wood Araguaey-I

ERIC BARRIOS PÉREZ¹,
WILVER CONTRERAS MIRANDA²,
MARY OWEN DE CONTRERAS³
y MARÍA RONDÓN SULBARÁN⁴

Recibido: 23-06-10 / Aceptado: 3-12-10

1 Universidad Central de Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Programa de Estudios de Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Centro Biotecnológico de Guayana, Correo electrónico: ericjbarrios@yahoo.com

2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, Correo electrónico: wilver@ula.ve

3 Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, Departamento de Tecnología para el Diseño Industrial, Investigadora del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, Correo electrónico: mowen@ula.ve

4 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Investigadora Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, Correo electrónico: mariat@ula.ve

Resumen

La madera como recurso natural renovable es explotada en la mayor parte de los países y usada extensivamente en forma industrializada para la construcción de viviendas. La madera ha sido un material importante para la construcción de edificios a través de la historia de todas las regiones del mundo. En los Estados Unidos y Canadá donde la construcción de viviendas tiene los mismos patrones que la industria automovilística, la producción de viviendas unifamiliares de madera constituye el 90 % del total edificado. Los países industrializados (EEUU, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia, entre otros), han utilizado desde hace muchos años la madera como material de construcción, bien sea sola o en combinación con otros materiales. Pero a pesar de que Venezuela es un país con amplios recursos forestales, los sistemas constructivos tradicionalmente empleados para la construcción de los programas habitacionales se han fundamentado principalmente en el uso de materiales de construcción como el concreto y el acero, entre otros, por lo que en el presente trabajo se realiza el diseño estructural y la evaluación económica de un sistema constructivo modular en madera, capaz de ser industrializado para viviendas prefabricadas, lo que permite una solución rentable al problema habitacional como respuesta a la necesidad de tener acceso a una vivienda digna y confortable, pues los procesos y fabricación en volúmenes, abaratan sustancialmente los costos de manufactura. Demostrando de esta forma que la construcción en madera es más económica que la construcción tradicional.

Palabras clave: estructura de madera, sistema estructural, marco portante, vivienda social.

Abstract

Wood as a renewable natural resource is exploited in the vast majority of the countries and it is extensively utilized in industrialized form for housing construction. Wood has been an important material for the construction of buildings in the history of all regions of the world. In the United States and Canada, where housing construction has the same patterns as the automobile industry, the production of wooden, single homes constitutes 90% of the total of all buildings. Industrialized countries (USA, Canada, England, Germany and France, among others) have utilized wood for many years as construction material by itself or in combination with other materials. Even though Venezuela is a country with ample forest resources, traditional housing construction programs have been principally based, among other materials, on concrete and steel. The following work performs the structural design and economic evaluation of a wood-based modular construction system for prefabricated housing construction at an industrialized level, which in turn presents an economic solution to the housing problem in response to the right to have access to worthy and comfortable homes, brought about due to substantial savings in processes and fabrication at large volumes. This work demonstrates that wood-based construction is more affordable than traditional construction.

Key words: wooden structure, structural system, supporting frame, social housing.

1. Introducción

En la actualidad Venezuela continúa afrontando un período de crisis en casi todo su estamento político, social y económico, producto del desencuentro por la tendencia a superponer un modelo y visión de país socialista en su estructura política que no son aceptados por una buena parte de la población. Esta situación se ha venido acrecentando en los últimos años, afectando al aparato productivo nacional, donde se encuentra inmiscuida la industria de la construcción de viviendas, entre otros sectores. Este marco contextual proyecta un panorama dramático en lo que respecta a la difícil realidad habitacional del país, ya que afecta a las familias de menores recursos económicos (Barrios *et al.*, 2010). El déficit habitacional para el año 1995, estaba entre 1,5 y 1,8 millones de unidades habitacionales, en la actualidad es de aproximadamente 2,5 millones de unidades (Correo del Caroní, 1999; CVC, 2010). Y es que, la exigencia de soluciones habitacionales se hace aún más prioritaria, por las recientes afectaciones que han producido las lluvias con sus deslaves e inundaciones a las familias de menores recursos que habitaban en su mayoría en zonas urbanas de alto riesgo y, que han pasado a engrosar las cifras de damnificados de Venezuela. Este ámbito social requiere de una mayor atención por parte del Estado venezolano, de manera que esté en capacidad de dar respuestas oportunas y efectivas a las emergencias nacionales; así como, al déficit de viviendas ya existente producto del crecimiento natural de los habitantes y de los inmigrantes que complementan el espectro demográfico nacional.

Además, los sistemas constructivos tradicionalmente empleados en Venezuela, para la construcción de los programas habitacionales sociales se han fundamentado principalmente en el uso de materiales de construcción como el concreto, acero, vidrio, cerámicos, etc., que por los costos inflacionarios de los mismos, los altos índices demográficos, el aumento del costo de la mano de obra, los costos energéticos, las concepciones de arquitectura e ingeniería y muchos otros factores más, hacen que las soluciones no estén al mismo ritmo de las necesidades de la población (Cloquell *et al.*, 2007).

En tal sentido, se necesitan soluciones más acordes a la realidad dentro de un marco conceptual de una edificación que permita el crecimiento

progresivo, con innovaciones tecnológicas sostenibles que procuren la apropiabilidad de éstas por el pueblo en general.

De ahí que, el Sistema Constructivo Aragua-ney-I, en su concepción de diseño arquitectónico y de ingeniería, se fundamente en un sistema constructivo estructural de marco portante, el cual permite la construcción de edificaciones residenciales sociales, tal como lo demostró en Venezuela, según Vivas (1983) y Contreras *et al.* (2008), el Arquitecto Fruto Vivas en la ciudad de Caracas en la década de los años ochenta, con su sistema estructural de marco portante de acero. Por ello, hacer experimentación en procura de innovar con los mismos principios y con diseños diferentes, haciendo uso de la madera sólida y sus productos forestales derivados, encaja dentro de esa concepción actual, permitiendo además, la construcción masiva de edificaciones basándose en elementos estandarizados, normalizados y prefabricados, pero especialmente como contrapartida a los sistemas constructivos tradicionales, tal como lo expone Cilento (1998), una construcción rápida, seca, económica, sin gran volumen de escombros, reciclable, reusable, pero fundamentalmente con una gran diversidad de formas arquitectónicas.

La madera, como recurso natural renovable es explotada en la mayor parte de los países del mundo y es utilizada extensivamente en forma industrializada para la construcción de viviendas. En Estados Unidos y Canadá, donde la construcción de casas tiene los mismos patrones que la industria automovilística, la producción de viviendas unifamiliares de madera que se construyen constituyen el 90 % del total edificado (AITIM, 1996; ASDSC, 2010).

El presente trabajo de investigación, pretende que en Venezuela se dé inicio al fomento de la utilización de la madera, como un material que pertenezca a la cultura constructiva del pueblo venezolano en las primeras décadas del nuevo milenio, haciendo uso de ella en su máxima expresión a nivel estructural y en cerramientos, pero bajo una concepción arquitectónica adaptada a los criterios de nuestra propia idiosincrasia y medio tropical. He allí, uno de los roles de trascendencia del Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, en convenio con el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, en ser génesis para procurar el cambio a partir de la innovación

y aporte de diversidad de propuestas de sistemas constructivos y diseños arquitectónicos ecoeficientes y bioclimáticos y, con ello hacer efectivo el ejemplo de Canadá con el Forintek, de constituirse en la verdadera interfase entre los centros de investigación, el sector industrial forestal, la sociedad y el Estado venezolano, logrando así, una de las estrategias más importantes que ayudará a consolidar el establecimiento de la cultura constructiva con madera en el país en los próximos años.

Por ser Venezuela un país con amplios recursos forestales de bosques naturales y de plantación, hace que este proyecto encaje dentro de las expectativas de encontrar una guía a la solución del grave flagelo habitacional. Tal como lo dijo el arquitecto colombiano Urbano Ripoll (M&M, 2010), la madera sitúa a sus componentes en condiciones competitivas con las estructuras prefabricadas de acero y concreto, dentro de similares normas de estabilidad y duración, ofreciendo a los ingenieros y arquitectos otra herramienta de trabajo, además de un código estético diferente y establecimiento de una calidad de obra nunca antes alcanzada.

Por su parte, desde finales de la II Guerra Mundial, el análisis estructural ha estado en un proceso de rápidos cambios, debido especialmente al espectacular desarrollo de las computadoras y a la introducción del álgebra matricial y el cálculo vectorial como lenguajes generales del racionamiento simbólico (Tuma, 1973).

Conscientes de esta realidad se contempla en la actual propuesta que, la evaluación del sistema estructural de marco portante con madera sea analizada con los últimos avances tecnológicos que nos permiten el software de análisis de estructuras, como es el caso de los programas basados en Elementos Finitos (Cadre).

El Sistema Constructivo Araguaney-I, ha sido realizado por un equipo multidisciplinario de profesionales de la arquitectura, ingeniería civil e ingeniería forestal. Éste, en su esencia, ha partido del diseño conceptual y arquitectónico de los arquitectos Wilver Contreras y Mary Owen de Contreras, el cálculo estructural e ingeniería fue realizado por los ingenieros Edward Thomson y Eric Barrios, lo cual ha permitido elaborar la propuesta de desarrollo industrial del sistema. Lo antes expuesto, nos permite garantizar el buen funcionamiento estructural de este sistema en su múltiple crecimen-

to y variabilidad de diseños a partir de un mismo módulo estructural, solventando las deficiencias del uso actual de la madera en Venezuela en el sector de la construcción, como lo dice Junac (1984), por la insuficiencia de los conocimientos técnicos, infraestructura de producción, de leyes, normas, y además, debido a prejuicios derivados del desconocimiento del material por parte de los usuarios.

Finalmente, el presente trabajo evalúa el Sistema Estructural de Marco Portante para Edificaciones con Madera (Araguaney-I), de forma que permita el crecimiento progresivo, normalizado y prefabricado. Además, se logra diseñar, dos posibilidades de crecimiento y variabilidad del sistema estructural de marco portante propuesto, a partir del módulo base realizado con madera, del Grupo Estructural C y B, según el Manual de Esfuerzos de Diseño de Calidad Estructural (Centeno, 1983). Se evalúa, desde el punto de vista económico, la propuesta respecto a otro sistema constructivo tradicionalmente empleado en Venezuela, como el concreto armado y el acero y, se retoma la propuesta de proyectar las estrategias fundamentales que requiere el Estado venezolano, la sociedad, la academia y el sector forestal, para que en consenso y compromiso de Patria, logren ayudar a definir las políticas, planes, programas y proyectos nacionales, que hagan posible la construcción masificada de viviendas sociales con madera y sus productos forestales derivados en Venezuela.

2. Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (Labonac) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Para el desarrollo técnico de la investigación se hizo uso de computadoras, software de cálculo estructural por el método de elemento finito (Cadre Pro ver. 3.2), software de análisis de precio unitario y presupuesto (Lulo Software CA. Control de obras), software Autocad versión 10, y uso de materiales para la representación en 2D y elaboración de maquetas (Figura 1).

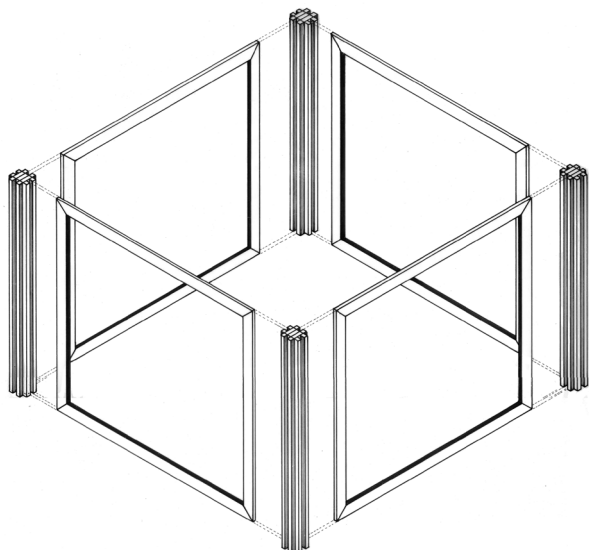


Figura 1. Módulo estructural base del sistema.

2.1 Diseño del modelo de marco portante

Se realizaron los diseños arquitectónicos, de ingeniería estructural y los planos del modelo propuesto empleando la metodología de Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) definida por Contreras y Cloquell (2006), el cual se refiere, entre otros, a procurar un diseño arquitectónico adaptado al medio físico, cultural y socio productivo del país, respetuoso del medio ambiente, razón por la cual se apoya en el Ecodiseño y aplica los preceptos de protección y conservación de la madera, especialmente, utilizando los principios de protección por diseño. Una vez definido el concepto generador, y elaborado su análisis de ciclo de vida, se procedió a realizar los dibujos de plantas, cortes, detalles, fachadas e isometrías, para lo cual se utilizan las distintas herramientas y materiales de dibujo técnico tradicional; así como, el software Autocad y el desarrollo de los modelos a escala manufacturados con madera sólida (Figuras 1 y 2).

Al analizar las figuras 1 y 2 del modelo estructural del sistema constructivo propuesto, se puede apreciar que el marco portante constituye la unidad básica para construir cualquier tipo de vivienda. La figura 3 denota que el sistema constructivo puede lograr mayor calidad estética y de buen comportamiento sismo resistente, haciendo uso de columnas en forma de "V", donde se apoyan posteriormente los marcos portantes para lograr

así definir los pisos superiores, permitiendo a su vez, adaptarse a los desniveles de la topografía del terreno.

Es de hacer notar que, las vigas principales forman parte del marco portante, pudiéndose apreciar también la columna y el marco. Éste está dividido en piezas verticales y horizontales, donde estas últimas hacen la función de las vigas, mientras que al unirse los diferentes marcos portantes, logran desarrollar las piezas verticales que a su vez se transforman en columnas (Figura 4). Dependiendo del tipo de base a usar se podrá construir una vivienda de dos, tres y cuatro pisos (Figuras 5 y 6).

2.2 Método de cálculo estructural

Se diseñó una estructura en madera sólida a base de marcos portantes, los cuales forman un módulo de 2,4 m (ancho) x 3,2 m (largo) x 2,7 m (alto), unidos por pernos y planchas de hierro y, para obtener la mejor estabilidad lateral del marco se sitúan en sitios estratégicos diagonales de arriostramiento. Para la realización de este diseño se siguen los siguientes pasos:

- Se procede a diseñar dos expresiones del modelo propuesto empleando el método de diseño pragmático y analógico.
- Se distribuyen las cargas correspondientes tanto para el techo como para el entrepiso en los modelos propuestos, para luego realizar los cálculos necesarios utilizando el método de elementos finitos.
- Se introducirán los modelos propuestos con dimensiones aproximadas y con las cargas correspondientes en el programa para el cálculo por el método de elementos finitos, para su previa comprobación y dimensionamiento utilizando el método de diseño por esfuerzos admisibles.
- Se realiza el análisis de precio unitario par su comparación con otras estructuras tradicionales.
- Finalmente, serán representados bidimensional y tridimensionalmente con las dimensiones óptimas.

Los pasos b, c y d se muestran en los siguientes apartados.



Figura 2. Diferentes fotos donde se muestra la maqueta del módulo estructural del sistema, pudiéndose apreciar sus elementos constitutivos y las distintas alturas que se pueden conseguir.

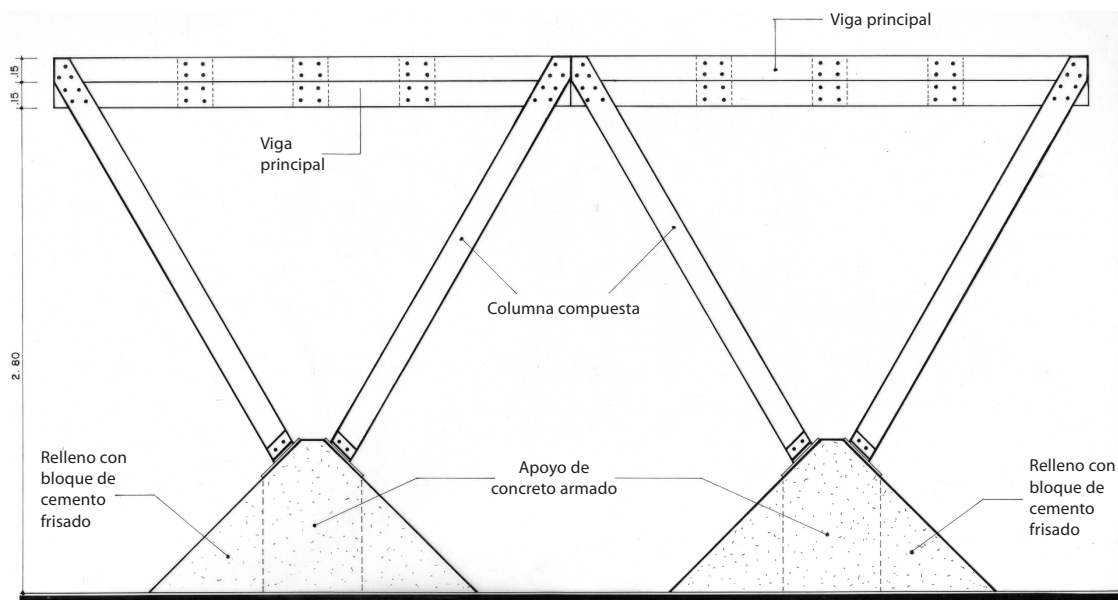


Figura 3. Vigas compuestas tipo "V" de madera sólida, fijas con uniones metálicas y apoyadas sobre fundaciones de concreto armado.

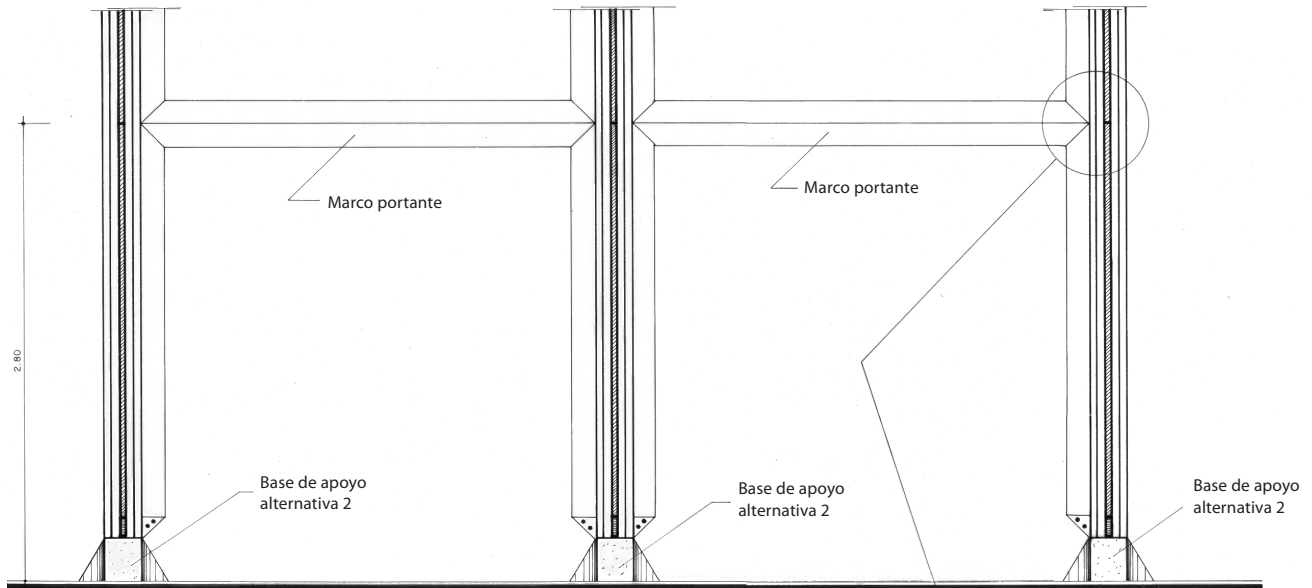


Figura 4. Columnas de primer piso formadas por el encuentro de varios marcos portantes, apoyadas sobre pequeños pilotes de concreto armado.

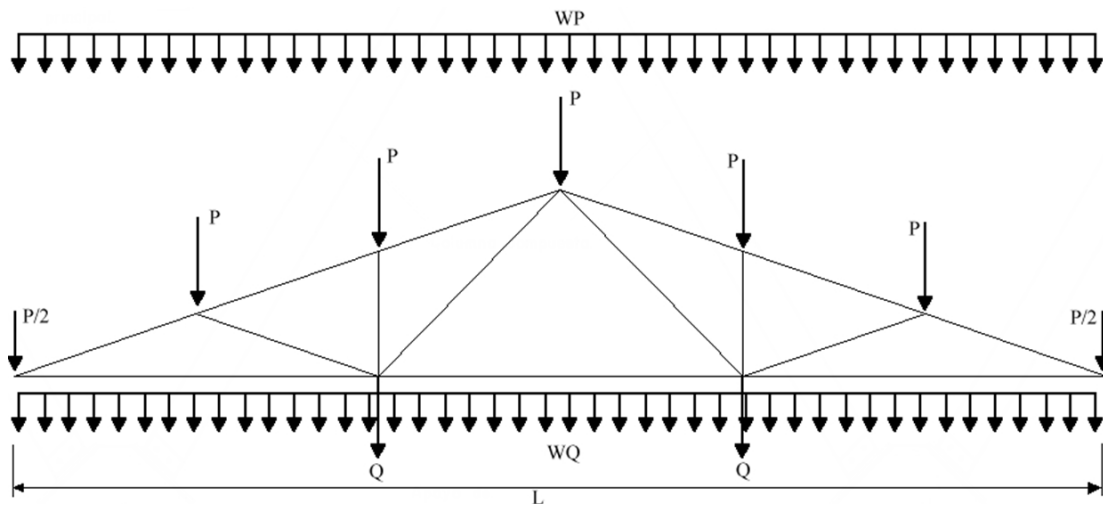


Figura 5. Esquema de la cercha donde se muestran las cargas concentradas equivalentes.

2.2.1 Análisis de Carga para el techo

Se diseñó una cercha a dos aguas de 9 m de luz y espaciada a cada 1 m, destinada a cubrir el área de la vivienda seleccionada, la cual va a estar constituida por un techo de machihembrado de 2,5 cm., a su vez éste va a estar recubierto con un manto asfáltico de 3 mm de espesor y sobre éste se le van a colocar tejas criollas con asiento de mortero, además se considera que la armadura va a soportar cielo raso.

Cabe destacar la posibilidad del sistema constructivo de permitir la colocación de cualquier sistema de cerchas para la conformación de los techos

de la edificación, según sean los criterios de diseño arquitectónico de la vivienda, su piso bioclimático y tipología de la zona donde se pretenda construir. También el sistema permite hacer diseño de techos planos, con la incorporación de aislantes térmicos y de su debida protección de revestimiento contra la lluvia.

2.2.1.1 Base de cálculo

Se elige una cercha (Figura 5) con un $\alpha = 18,43^\circ$. Se usa madera del Grupo C, según los Esfuerzos de Diseño para Madera Venezolanas por Centeno (1983),

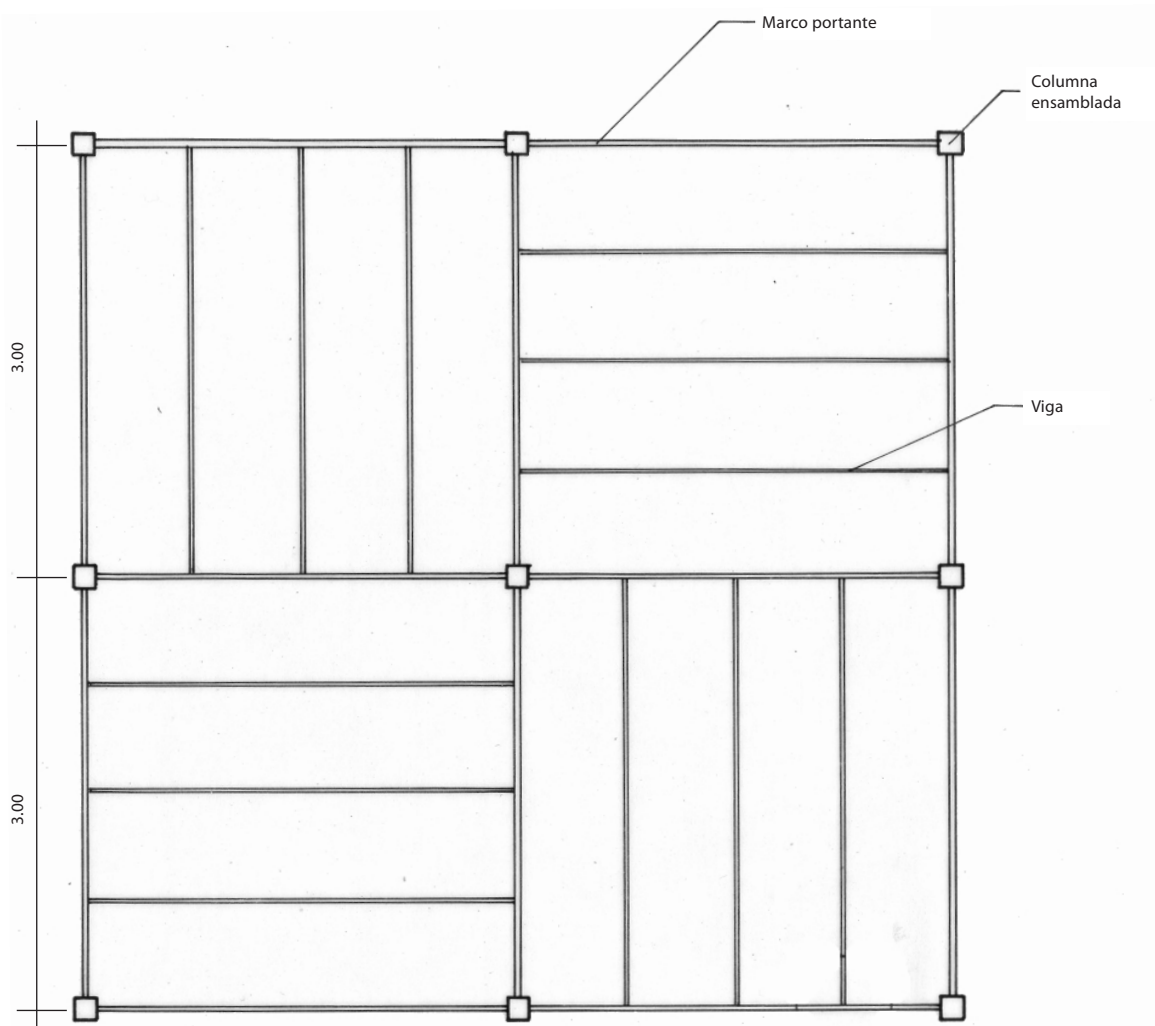


Figura 6. Distribución de las viguetas

cuyas propiedades de diseño son: $E_{\min} = 70.000 \text{ kg/cm}^2$, $f_m = 100 \text{ kg/cm}^2$, $f_{c\text{c\text{c}}} = 80 \text{ kg/cm}^2$, $f_c = 25 \text{ kg/cm}^2$, $f_t = 75 \text{ kg/cm}^2$ y $f_v = 10 \text{ kg/cm}^2$.

Se calculan las cargas concentradas equivalentes (Figura 5), y luego se determina las fuerzas axiales de cada barra se calculan con el programa CADRE, introduciendo los datos anteriores y las coordenadas de cada nodo. Posteriormente se diseñan los elementos de acuerdo a los esfuerzos a que están sometidos, pudiendo ser estos de compresión, tracción, flexo-compresión y flexo-tracción, teniendo muy en cuenta la longitud efectiva y la luz correcta para el cálculo según la Junac (1984), pues la carga admisible (N_{adm}) es en función de la misma y se determina y varía dependiendo si el elemento se comporta como una columna corta, larga o intermedia.

2.2.1.2 Análisis de carga para el entrepiso

El entrepiso está conformado por viguetas paralelas entre sí y perpendiculares entre grupo de viguetas (Figura 6) y podrá estar recubierto por una pequeña placa de concreto de 5 cm de espesor, la cual soportará el acabado final del mismo (parquet o cerámica) y va a estar soportado por un entablado de 5 cm de espesor y entre el concreto y la madera se le coloca un aislante, que en este caso es un manto asfáltico de 3 mm de espesor, además se le suma el peso propio de la tabiquería interna, correas y la sobrecarga. Con estos datos se diseñan las viguetas del entre piso cuyo espaciamiento es de 40 cm y tienen una luz de 3,2 m. Este procedimiento es válido tanto para la madera del grupo estructural B como el C

2.2.1.2.1 Cálculos de las vigas principales y de las columnas

Para este proceso se hizo una página en Excel, donde se introdujeron los datos necesarios para los cálculos pertinentes de la siguiente manera: se selecciona el miembro más desfavorable para cada fuerza y momento resultante, se comprueba por flexión, luego se comprueba por corte, se compara por flexo-compresión, y por último se calcula la longitud mínima de apoyo.

2.2.1.2.2 Cálculo del número de pernos

Para el cálculo del número de pernos se utilizan los valores más altos de las fuerzas dadas por Cadre. Para las distintas uniones en este modelo se van a utilizar cabilla lisa tarrajada en ambos extremos, placas de hierro, tuercas y arandelas. Es de hacer notar que para estos cálculos las uniones no se consideraron rígidas, debido a que en madera es muy difícil hacer uniones restringidas a momentos dada la naturaleza orgánica de la madera, y por la gran cantidad de pernos que arrojarían los resultados, y con lo que se conseguiría debilitar la unión.

2.2.1.3 Pernos para las vigas

Para este cálculo se utilizan los valores más altos de las vigas divididos entre dos, debido a que este elemento en la realidad está conformada por dos piezas unidas por los pernos y por razones de simulación se utilizó un solo elemento de viga. Se calculan las fuerzas, equivalentes, las fuerzas resistentes del perno, para la fuerza admisible por cada perno se utiliza la Fórmula de Hankinson, para lo cual se determina el ángulo de la fuerza resultante con respecto a la dirección de la fibra.

2.2.1.3.1 Pernos para el área intermedia de las columnas

Para este cálculo se utiliza la fuerza cortante máxima en las columnas, ésta se encuentra en los apoyos, y se realiza de la siguiente manera:

Se determina el área tributaria de cada grupo de pernos, luego se calcula el momento estático de área, posteriormente se calcula el momento de inercia, y con estos valores se determina la fuerza o el flujo cortante que van a resistir los pernos en el área intermedia.

2.2.1.3.2 Pernos para la fundación

Para este cálculo se seleccionan las fuerzas cortan-

tes máximas en las bases para cada tipo de columna, así se tiene: Para la columna tipo 1 se utiliza un corte máximo, y para la tipo 2 se utiliza otro corte máximo correspondiente a este tipo de columna. Estos esfuerzos se dividen entre los admisibles de los pernos para saber su número.

2.3 Análisis de precio unitario

Para este análisis se utilizó el programa Lulo Software CA, Control de Obra. Se introducen las partidas correspondientes, según las normas Covenin 2000 IIA de edificaciones (Covenin, 2000), para la estructura de la casa en madera (Araguaney- I), la estructura de la casa tradicional (cabilla, concreto, ladrillo) y para una casa con estructura de acero, todas con igual área de construcción. Se imprimen los presupuestos y análisis de precio unitario de cada una para su posterior comparación. Es de hacer notar que para estos cálculos se utilizaron en los tres modelos el mismo tipo de fundación (losa corrida) y el mismo tipo de techo (machihembrado con tejas), lo único diferente fueron las medidas de la estructura principal.

En el caso de la vivienda de concreto las medidas tentativas aproximadas de la estructura son las siguientes: las columnas se separan en un módulo de 4,8 m x 3,6 m, siendo las medidas de éstas de 20 cm x 20 cm con, las de la viga de carga de 25 cm x 40 cm, la losa del entrepiso es nervada en una dirección y de espesor 20 cm y la estructura del techo es de vigas IPN de 12 y 8, estas últimas separadas a cada 60 cm.

Para la vivienda de acero las medidas tentativas de la estructura son las siguientes: las vigas y columnas son del tipo Unicon ASTM A 500 Grado C de 135 mm x 135 mm, la losa del entrepiso es de Losacero calibre 22 para un total de 8 cm de espesor y para la estructura del techo se utiliza tubo Unicon ASTM A 500 Grado C de 100 mm x 40 mm a cada 1,2 m.

3. Resultados y discusión

3.1 Secciones a usarse en sistema constructivo de marco portante

El desarrollo de la cercha que se expone en el presente trabajo, no limita otras posibilidades de di-

seño de este tipo de elemento en la conformación del sistema constructivo Araguañey - I (Figura 7), el proceso de cálculo estructural determinó las siguientes secciones expuestas en el cuadro 1 y haciendo la consideración del uso de la madera de pino Caribe de la Orinoquía.

Cuadro 1. Secciones de los elementos que conforman la cercha del sistema constructivo.

Elemento	Sección	Elemento	Sección
1-5	2" x 6"	4-11	2" x 3"
5-12	2" x 6"	13-11	2" x 3"
12-11	2" x 6"	13-20	2" x 3"
11-20	2" x 6"	13-21	2" x 3"
20-21	2" x 6"	1-4	2" x 4"
21-22	2" x 6"	4-13	2" x 4"
4-5	2" x 3"	13-22	2" x 4"
4-12	2" x 3"		

Los elementos a usar en la estructura son los siguientes:

- El entablonado del piso va a estar sustentado por viguetas de 7 cm x 20 cm ó de 3" x 8"; las vigas principales están constituidas por los elementos que conforman el marco, los cuales son de 9 cm x 14 cm ó de 4" x 6", y que para el caso del entrepiso con dos elementos horizontales de éstos, unidos por cuatro pernos de $\frac{3}{8}$ " de diámetro se conforma una viga; los elementos verticales que van a conformar las columnas, están constituidos por la unión de dos, tres o cuatro marcos unidos con pernos de $\frac{3}{4}$ " de diámetro ubicados a cada 39 cm aproximadamente. Para la unión de los elementos verticales que conforman las columnas se utilizan tres pernos de $\frac{1}{2}$ " para columnas conformadas por cuatro marcos y dos pernos de la misma me-

didada para columnas conformadas por tres elementos (figuras 8, 9 y 10).

3.2 Análisis de precio unitario

Luego de procesar los datos de los tres tipos de estructuras en el programa Lulo Software CA, Control de Obra, se observa que la de madera tiene un menor costo de construcción, 23% menos que las construcciones tradicionales de concreto y 37% menos que la construcción tradicional de acero, tal como se puede apreciar en la figura 11.

Si se desglosan los costos en materiales, equipos y mano de obra (Figura 12), se puede apreciar que la madera es la que menos costos representa en cada una de ellas, además, también se puede notar que es una de las que menos utilidades da, es probable que a los industriales no les interese construir con madera porque el rango de ganancia es bajo.

3.3 Consideraciones técnicas sobre normalización y comercialización para el sistema constructivo

El sistema constructivo modular de fabricación en cadena de montaje, no sólo pretende optimizar recursos energéticos, materiales y humanos en su fabricación; sino que, al normalizar su diseño se consigue optimizarlo en beneficio de la personalización, pormenorización, adaptación y variación de la edificación, pudiendo, de esta manera, destinar parte de los recursos de diseño y proyecto a estos conceptos. Tanto en acabados como en disposiciones y tipologías, ofrece una amplia gama de posibilidades, dando al carácter industrial de su fabricación una gran flexibilidad.

Para esta investigación, la madera maciza constituye el material más importante del sistema constructivo y sobre el cual hay estudios extensamente desarrollados. Entre los beneficios y usos

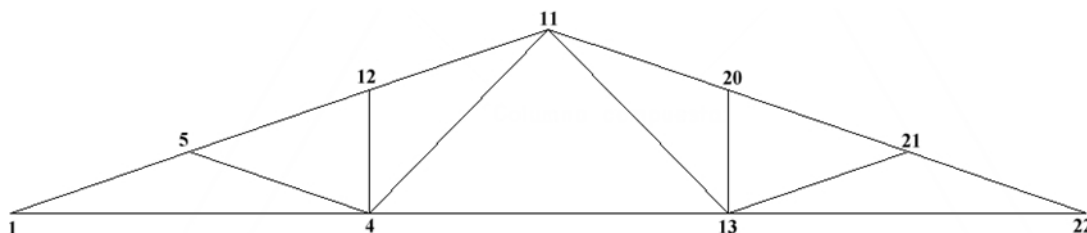


Figura 7. Esquema mostrando el tipo de cercha a utilizar con sus nodos correspondientes.

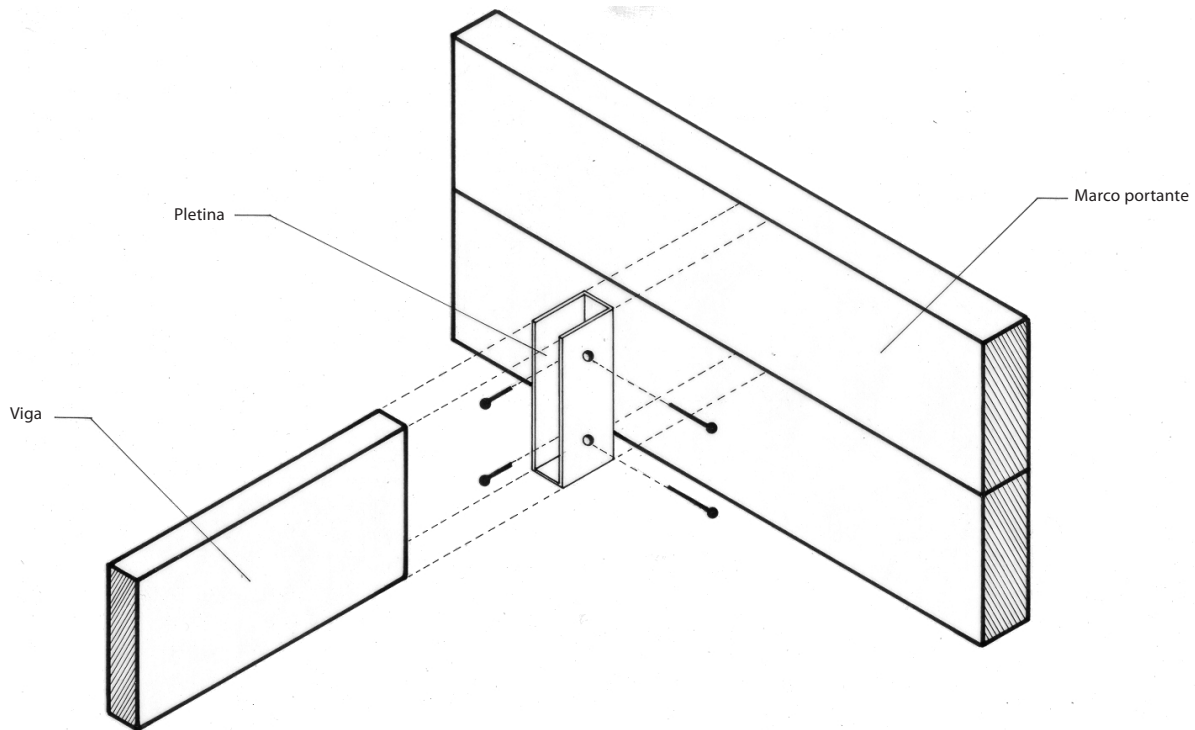


Figura 8. Unión entre vigueta y marco.

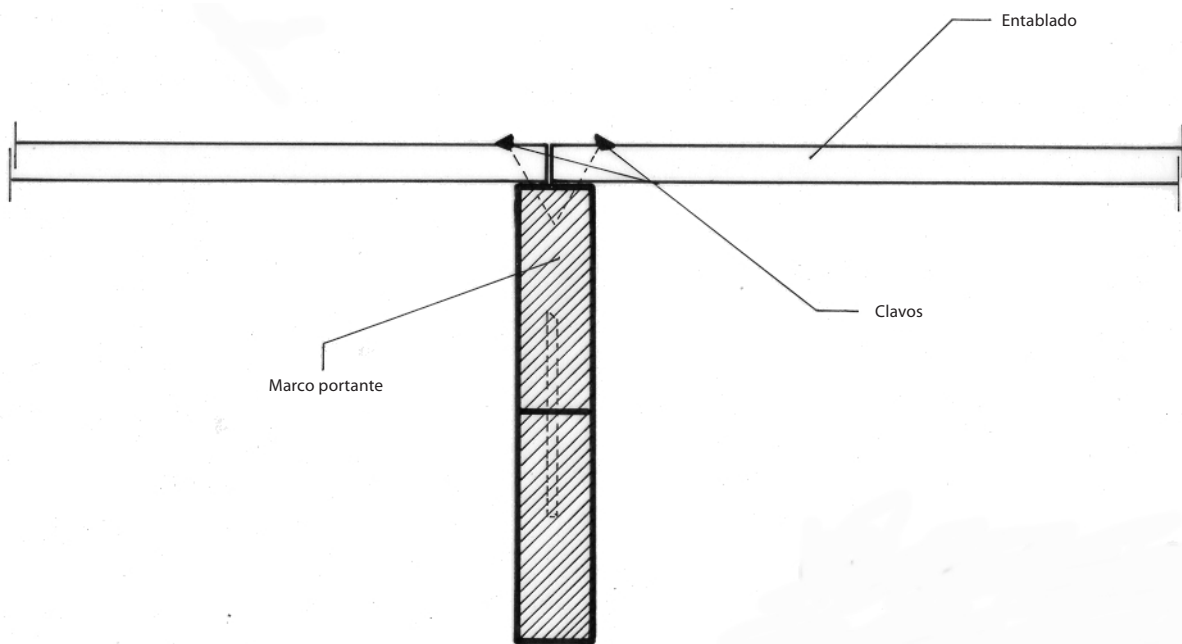


Figura 9. Unión del entablado con el marco.

de la madera y los componentes constructivos con madera desde el punto de vista del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), se obtienen ventajas ambientales significativas que al ser comparadas en relación a la mayoría de los materiales de amplia difusión en la construcción, tales como:

- La producción de madera, aparte de ser útil para la sociedad, actúa como almacén de carbono purificando el aire y contribuyendo a la reducción del efecto invernadero.
- Los procesos de producción y transformación de la madera consumen menos energía que los procesos productivos de otros materiales.

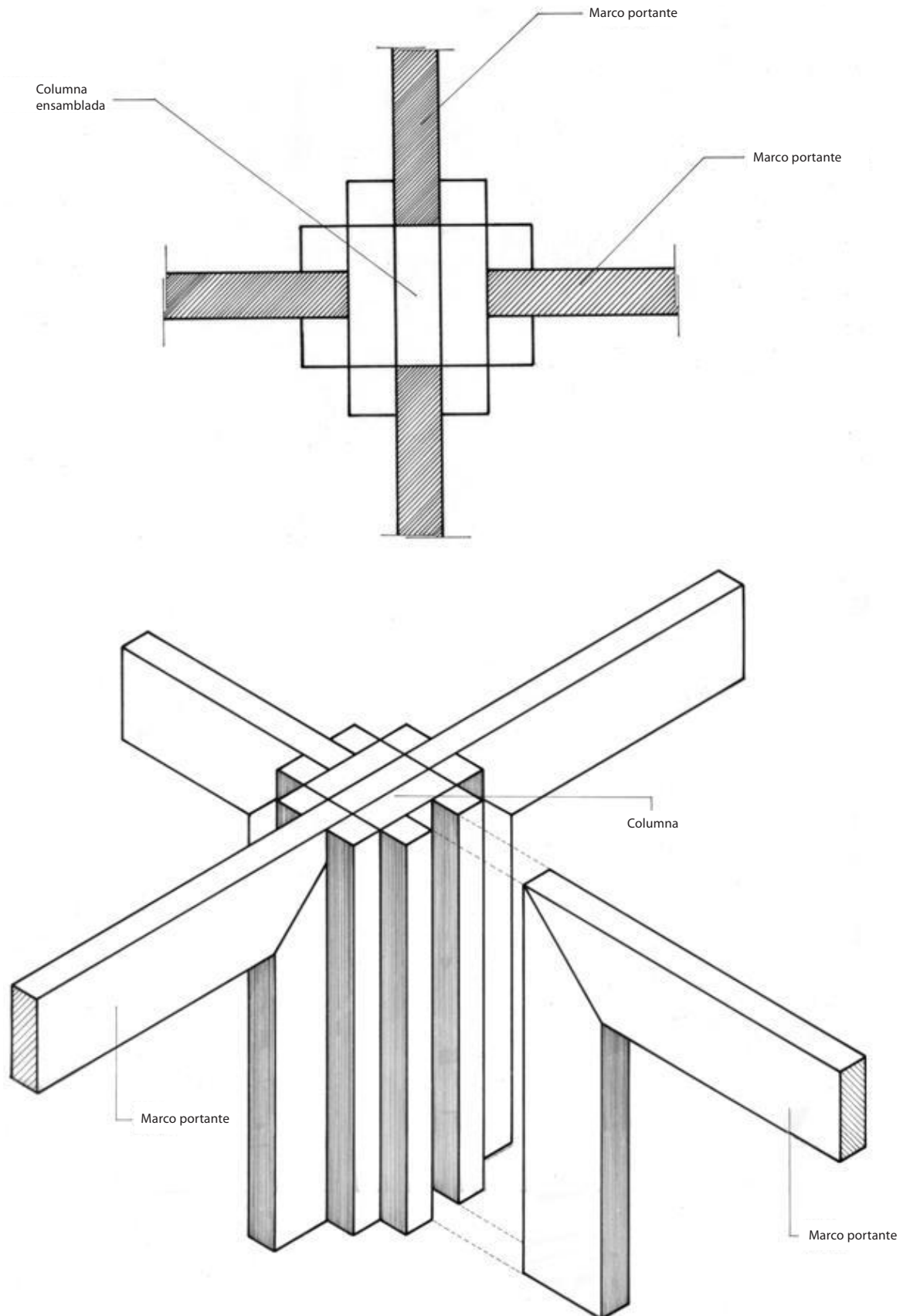


Figura 10. Detalle de la columna y el marco.

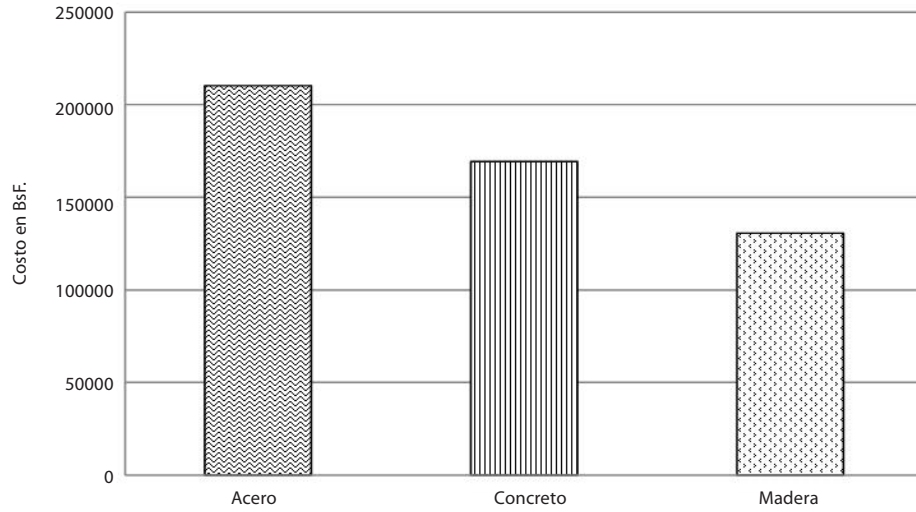


Figura 11. Comparación en cuanto a costo de los distintos sistemas estructurales.

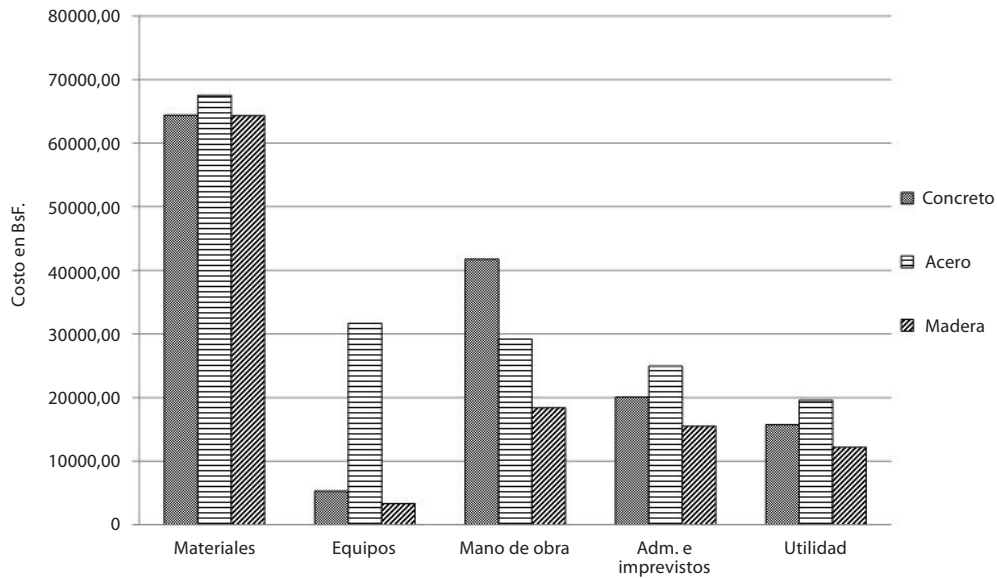


Figura 12. Comparación en cuanto a costo de los materiales, equipos, mano de obra, administración e imprevisto y las utilidades de los distintos sistemas estructurales.

- Si a esto añadimos que mucha de la energía que consume proviene de sus propios residuos, el resultado final es que la industrialización de la madera incide positivamente en la reducción de la demanda de combustibles sólidos.
- En el caso de la madera se pueden aprovechar incluso las cenizas devolviéndolas al campo como fertilizantes.

Por su parte en lo que respecta a las principales exigencias de la normalización, se puede mencionar que la estructura principal de este sistema mo-

dular de construcción está compuesta por elementos de madera maciza, a base de marcos portantes, con nudos rígidos resueltos mediante pernos y placas de acero galvanizado, cumpliendo el conjunto todos los requisitos exigidos por el Comité Técnico (CTE). La madera debe cumplir con una serie de características, tales como: forma estable; estabilidad dimensional; resistencia definida; humedad de la madera controlada; muy resistente con un bajo peso propio; excelente y constante calidad de producto; producción de máxima eficiencia económica; sin objeciones medioambientales; estética agradable; entre otras.

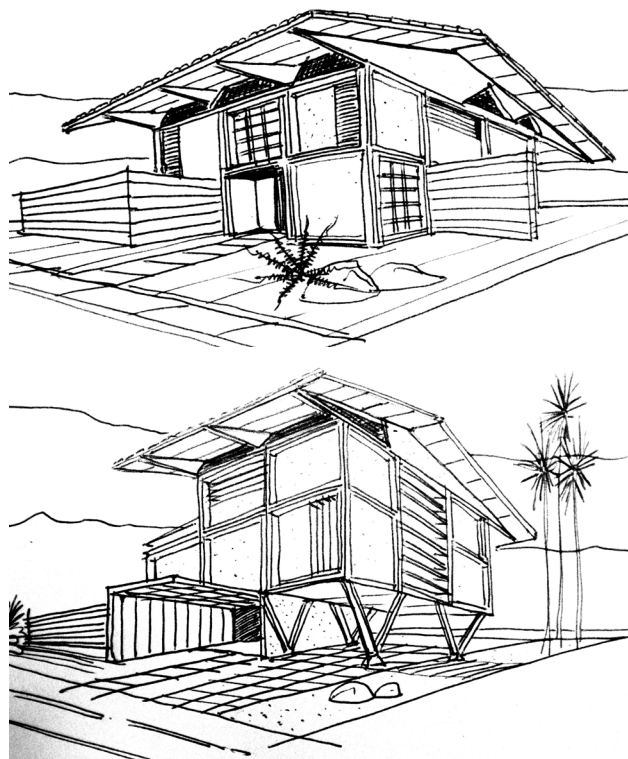
Toda aplicación de normalización se proyecta sobre procesos, productos y servicios. De ahí que, en lo que respecta a las exigencias técnicas de las maderas empleadas en el Sistema Constructivo Araguaneý-I, caso del pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*), se puede señalar que con el diseño planteado se logró una máxima simplificación de componentes lo que permite la prefabricación y normalización de los mismos para facilitar el ensamblado de una vivienda en obra y de su crecimiento progresivo en el tiempo. Además, esta es una de las especies maderables que se utilizarían para este sistema constructivo y, la cual puede garantizar su suministro constante en el tiempo ya que se cuenta con plantaciones a gran escala en el Sur de los estados Monagas y Anzoátegui y en los estados Andinos, Llanos Occidentales, Carabobo y Guayana Venezolana a menor escala. Según el IFLA (1991) y el Marnn (1993), la madera es de color amarillo claro, resinosa, con un veteado suave y longitudinal, de sabor no distintivo, densidad verde de 0,9794 g/cm³ y seca al aire 0,51670 g/cm³ (madera de pino de 20 años de edad plantados en Uverito), densidad verde de 1,03057 g/cm³ y seca al aire 0,64344 g/cm³ (madera de pino de 15 años de edad plantados en Uverito), densidad verde de 0,94719 g/cm³ y seca al aire 0,50945 g/cm³ (madera de pino de 10 años de edad plantados en Uverito).

3.4 Consideraciones técnicas para el desarrollo de proyectos de arquitectura, ingeniería, urbanismo y paisajismo

Para el uso generalizado del Sistema Constructivo Araguaneý-I, por su facilidad y simplicidad de diseño sólo se requiere la conformación de un equipo de proyectistas que en plena capacidad técnica, científica y humanista aborde el desarrollo de cualquier tipo de proyectos de arquitectura, diseño interior e ingeniería que puede ir desde una vivienda unifamiliar, bifamiliar, pareada y hasta un edificio de cuatro pisos, donde se involucre el uso y construcción con madera y sus productos forestales derivados (Figuras 13 y 14). Los proyectistas deben considerar, entre otros aspectos técnicos planteados en el Manual de Diseño y Construcción con Madera de la Junta del Acuerdo de Cartagena (Junac, 1984), que el proyecto de una vivienda social, ejemplo de una o dos plantas, requiere considerar su crecimiento progresivo y su proyección a

ser masificada. Además, aparte de todos los factores técnicos por considerar, en la presente investigación, se debe hacer una reflexión que trasciende la parte técnico-constructiva. Y es que, los fracasos de los proyectos pequeños, medianos y grandes de construir de manera masificada con madera en Venezuela, han correspondido a la falta de visión integral de sus directivos, en lo referente a todos los aspectos técnicos integrales que involucra el conocimiento para el buen diseño, construcción y mantenimiento durante el uso de este noble material y sus productos derivados en el tiempo, por parte de sus proyectistas, de los industriales de la transformación y comercialización, así como de constructores y usuarios finales.

No puede haber masificación de programas de viviendas y edificaciones sociales con madera y sus productos forestales derivados en Venezuela, sin considerar las siguientes estrategias estructurales que tienen un marco jurídico, legislativo, académico, industrial, político y social, con plena visión de consenso, corresponsabilidad, innovación y compromiso sincero del Estado y de la sociedad venezolana:



Figuras 13 y 14. Vistas de algunos de los modelos arquitectónicos que se pueden construir con el Sistema Constructivo de Marco Portante Araguaneý-I. Fuente: Dibujos Jesús de Luzam.

- El establecimiento de normas de diseño, cálculo y construcción que superen las propuestas definidas en la década de los años ochenta por la Junac;
- La participación efectiva de los centros educativos nacionales a todos los niveles, así como, de los gremios de profesionales de arquitectura, ingeniería y diseño industrial, para que estén educados y conscientes del rol protagónico de la madera y sus productos forestales en el desarrollo del país, con la incorporación masiva y establecimiento de la cultura constructiva de este material en Venezuela en los próximos años;
- Un sector forestal que proporcione materia prima con calidad garantizada en el tiempo y medidas estandarizadas de cortos y angostos de los componentes constructivos;
- La creación de nuevos centros de investigación especializados para el centro y oriente del país, debiéndose de resaltar la modernización, dotación y contratación de nuevo personal para el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, para que sirva de interfaz en el aporte de nuevos conocimientos, procesos, productos y servicios a la industria forestal en pleno;
- El desarrollo y aplicación de la Evaluación del Desempeño Medioambiental, la Ecoeficiencia y sistemas de gestión medioambiental en los polígonos ecodindustriales forestales; así como, el Ecodiseño para la innovación de nuevos productos forestales;
- La ampliación de la oferta en la gama de sistemas de piezas de herrajes que garanticen uniones seguras y de fácil manufactura y montaje; precios competitivos;
- la implementación de un sistema de distribución de la materia prima y componentes constructivos ubicado a nivel nacional; mano de obra calificada para su uso, construcción y mantenimiento;
- Profesionales capaces de hacer proyectos con base técnica funcional, estética, eficiente, racional y segura según los estándares de una construcción con madera y productos forestales, resistentes ante accidentes, incendios, actos criminales, inundaciones o sismos, lo cual exige la generación continua de propuestas innovadoras de nuevos sistemas constructivos (estructurales y cerramientos/ materiales de construcción alternativos) acordes con la idio-

sincrasia y claras debilidades que en la actualidad significa, el abordaje de la construcción masiva de viviendas con los productos lignocelulósicos;

- La generación de leyes nacionales que faciliten y promuevan el financiamiento de proyectos a ser construidos con madera y productos forestales; así como, la garantía de ser asegurados ante siniestros y accidentes;
- El establecimiento exitoso de complejos industriales ecoeficientes, capaces de transformar el gran potencial de madera proveniente de las plantaciones forestales y de bosque natural con las cuales aún cuenta Venezuela, a la par de un eficiente programa nacional de plantaciones forestales de maderas coníferas, latifoliadas autóctonas y foráneas; así como, de gramíneas; pero especialmente, futuros usuarios que estén debidamente sensibilizados y capacitados para saber llevar su cotidianidad dentro de los espacios de una edificación con madera, siendo capaz de dar respuestas oportunas con el mantenimiento al momento en que la edificación lo solicite, debido a las propiedades y características intrínsecas físicas y mecánicas de estos materiales orgánicos sólidos o compuestos.

El seguimiento de estas estrategias, en su mayor dimensión, es el principio del éxito al asumir un proyecto masivo de edificaciones, especialmente sociales, con madera y sus productos forestales. Lo contrario, es el desarrollo puntual y descontextualizado, con el riesgo al fracaso en el tiempo, ante una realidad donde domina la cultura constructiva de materiales tradicionales, como el concreto, acero, cerramientos pétreos, cerámicos y vidrio.

3.5 Consideraciones técnicas en el desarrollo de proyectos y la importancia de la asesoría tecnológica en la fase de construcción

La reflexión técnica planteada en el punto 3.3, viene a proyectar la exigencia de asesoría continua por parte del equipo en pleno de profesionales, para el éxito de la transformación, construcción y montaje de los componentes que conformarán las viviendas a ser manufacturadas con cualquier sistema constructivo con madera y sus productos forestales. Lo anterior permite hacer una recomendación

referida a que mientras se construye un prototipo, se puede dar inicio en paralelo al desarrollo de otros proyectos derivados del sistema constructivo debidamente adaptado a los requerimientos de diseño de la zona a construir. Bien pueden ser proyectos de una sola planta, dos pisos o hasta cuatro pisos de altura con uso residencial o de cualquier otro uso.

A su vez, esta etapa permite hacer un proceso de capacitación técnica a todos los profesionales externos al proyecto e integrantes de la comunidad que serán partícipes de cooperativas o de las Empresas Populares Socialistas (EPS) que promueve el Ejecutivo Nacional. Lo importante de este proceso de asesoría y capacitación, es la multiplicación de experiencias y conocimientos adquiridos sobre la base del pragmatismo, para lograr la verdadera apropiabilidad de la tecnología por parte del pueblo venezolano.

3.6 Consideraciones técnicas de la evaluación de los proyectos en el tiempo y capacitación tecnológica a los usuarios para el mantenimiento de las viviendas

Este apartado se diferencia de la anterior por tener una visión prospectiva del proyecto en el tiempo. Es la fase que evalúa un alto espectro de aciertos y debilidades en el proyecto; los estándares de satisfacción residencial que arrojan las viviendas construidas; la motivación y sensibilidad de los usuarios de las viviendas frente a la madera y sus productos forestales derivados; la proyección de los aspectos técnicos positivos o negativos a resolver del proyecto; y la interrelación de las experiencias vividas de una comunidad con otras comunidades involucradas en futuros proyectos de construcción de viviendas con madera, como una forma directa de sensibilizar y ser asertivos tecnológicamente con el ejemplo vivido de sus propios habitantes, que se transforman en verdaderos transmisores de las bondades de vivir en una edificación con madera en Venezuela.

4. Conclusiones y recomendaciones

El Sistema Estructural Araguañey-I tiene numerosas ventajas en comparación con los sistemas estructurales tradicionales, aunado a esto, está dise-

ñado para utilizar pocos componentes facilitando su transporte, así como su producción en serie y de una forma altamente industrializada, armando dichos componentes principales en la industria y transportándolos a la obra para su posterior ensamblaje. Entre esas ventajas se encuentra su reducido costo pudiendo competir sin ningún problema con los sistemas estructurales tradicionales (37% menos que el de concreto y 23% menos que la de acero).

Contrario a las exigencias técnico-productivas que se requieren para la construcción en madera que hasta el momento se han utilizado en el país, este sistema constructivo es sencillo de ensamblar y construir sin necesitar la utilización de mano de obra calificada o capacitada para este proceso, dada su simplicidad de componentes y la facilidad de ensamblaje que, entre otros, permite construir viviendas de crecimiento progresivo con madera en serie sin desmejorar la calidad de vida, más bien las mejora de una manera significativa.

Otro punto a favor que se puede destacar es la ligereza de las viviendas prefabricadas en madera, lo cual implica que los costos de transporte son mucho más bajos. Aunado a esto la madera, es un recurso natural renovable, no contaminante; es un material que necesita unas seis veces menos energía que el acero para ser transformada de material bruto a un material utilizable. Tomando en cuenta la crisis energética por la cual está pasando nuestro planeta y que ya afecta a Venezuela, resulta que la madera es la solución más ventajosa, por lo menos en la forma planteada en este trabajo.

Este sistema estructural permite la multiplicidad de crecimiento, el cual puede tener 69,12 m² (vivienda de un solo piso) como mínimo y un máximo, de 138,24 m² (dos pisos) pudiendo inclusive llegar a tener tres pisos, logrando así, una gran libertad de formas, dejando que sea el arquitecto o la persona misma el creador de su propia obra. El tercer piso se obtiene elevando la estructura principal de dos pisos bien sea con pilotes o con la estructura en "V".

Los cálculos realizados permitieron definir las dimensiones mínimas de los componentes del sistema constructivo cuyos elementos estructurales con secciones de 2" x 3" , de 2" x 4" y de 2" x 6" , son capaces de ofrecer buenas propiedades sismo-resistentes para viviendas de uno, dos y tres pisos de altura.

La construcción de viviendas con madera es una realidad que puede ser factible, puesto que el uso de la madera con fines constructivos en nuestro país, sin ocasionar daño al ecosistema está garantizado, ya que solamente en la zona oriental existe una superficie plantada de aproximadamente 600.000 hectáreas de Pino Caribe de la Orinoquía.

Además, se tiene la garantía de que las nuevas y cada vez más actuales técnicas de preservado, permiten controlar el deterioro que afecta a la madera en su estado natural; con esto la madera obtiene la duración y estabilidad necesaria que la hacen competitiva con otros materiales de construcción, ofreciendo además una belleza estética de alta calidad. Finalmente, se recomienda que la presente propuesta sea presentada a instancias financieras de proyectos de investigación gubernamentales, de forma que se pueda llegar a construir los primeros prototipos de viviendas sociales, evaluando, corrigiendo y procurando su producción en serie a disposición de la creatividad y apropiabilidad del pueblo venezolano.

4. Referencias bibliográficas

- AITIM. 1996. *Cost E5, edificios de media altura de madera*. AITIM N° 184.. Madrid, España. 35 p.
- ASDSC. 2010. Arquitectura en Madera. En línea: www.asdsc.com.ar [Consultado: 28/04/2010].
- BARRIOS E., W. CONTRERAS MIRANDA, M. SOSA, M. OWEN DE C., y M. RONDÓN SULBARÁN. 2010. Fundamentos técnicos para la creación de una Red Nacional de fábricas de madera laminada encolada en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 54(2): 99 - 112.
- CENTENO, J. 1983. *Esfuerzos de diseño para maderas venezolanas*. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela. 34 p.
- CILENTO, A. 1998. Tendencias tecnológicas en la producción de viviendas. *Interciencia* 23 (1): 26-32.
- CONTRERAS MIRANDA W., L. NININ, M. OWEN DE CONTRERAS y Y. CONTRERAS MIRANDA. 2008. Propuesta para la creación de la Red Urbana de Unidades Comunes, para la manufactura de componentes constructivos, muebles y artesanías de madera de pino caribe en ciudades venezolanas. *Revista Forestal Venezolana* 51(2): 189-200.
- CLOQUELL BALLESTER V., W. CONTRERAS MIRANDA y M. OWEN DE CONTRERAS. 2007. *La madera y los productos forestales en sistemas estructurales. Aspectos técnicos y medioambientales*. Editorial Fundación Politécnica Antiguos Alumnos. Universidad Politécnica de Valencia. 289 p.
- CONTRERAS MIRANDA W. y V. CLOQUELL BALLESTER. 2006. *Metodología del Diseño Ambientalmente Integrado*. Universidad Politécnica de Valencia, España. 75 p.
- CORREO DEL CARONÍ. 1999. Fondur apoya la iniciativa de CVG-Proforca en la promoción y construcción masiva de viviendas de Pino Caribe. Especial. 6 de noviembre. Cuerpo de Información. Ciudad Guayana, Venezuela.
- COVENIN. 2000. Norma Covenin 2000-92 IIA. Edificaciones. Caracas, Venezuela. 38 p.
- CVC. 2010. Vivienda Producción y déficit. Cámara Venezolana de la Construcción. En línea: www.venescopio.org.ve/docs/enero07.pdf [Consultado: 30/05/2010].
- IFLA. 1991. Pino Caribe. *Pinus caribaea* (Morelet). Serie maderas comerciales de Venezuela. Ficha Técnica N° 22. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela. 29 p.
- JUNAC. 1984. *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú. 235 p.
- MARNR. 1993. *Pino Caribe. Autoecología de la especie*. Cartilla N° 14. Seforven. Caracas, Venezuela. 6 p.
- M&M. 2010. Urbano Ripoll. Un arquitecto apasionado de la madera. En línea: <http://revista-mm.com/ediciones/rev64/entrevistaurbano.pdf> [Consultado: 20/04/2010].
- TUMA, J. 1973. *Teoría y problemas de análisis estructural con una introducción a las matrices de transporte, flexibilidad y rigidez y sus aplicaciones*. Mc Graw-Hill. México, México. 289 p.
- VIVAS, F. 1983. *Fruto Vivas. Reflexiones para vivir un mundo mejor*. Editorial Armitano. Caracas, Venezuela. 217 p.