

LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL APLICADO A LA ARQUITECTURA CON SENTIDO SOCIAL

J.E. Cruz Benedetti¹, L.E. Martínez Acosta², J. Lakah Durango³, J. Hernández Ávila⁴, A. López Ramos⁵,
Programa de Ingeniería Civil - Universidad Pontificia Bolivariana, Montería Córdoba.

Recibido Enero 18, 2013 – Aceptado, Marzo 22, 2013
<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v7n1.a09>

Resumen— Cuando ocurren catástrofes naturales que afectan a familias de bajos recursos que quedan desprotegidas, generalmente se solventa la necesidad provocada por la calamidad a través de viviendas de emergencia realizadas en uno de los materiales más baratos y abundantes de la naturaleza como es la madera natural. Este proyecto de investigación estudió la utilización de una vivienda de emergencia estructurada como módulos de manera que se puedan ensamblar unos con otros para hacer viviendas multifamiliares. En este estudio se adoptó un diseño arquitectónico de una vivienda de emergencia propuesta para ser construida con compuestos de madera plástica y se modelizó en madera natural con el propósito adicional de hacer comparaciones entre los dos modelos. Los resultados obtenidos determinaron que es más económica y trabaja mejor desde el punto de vista estructural la solución en madera natural. No se tuvo en cuenta los valores agregados inherentes a la madera plástica tales como durabilidad y ausencia de mantenimiento.

Palabras clave— Madera natural, medio ambiente, vivienda de emergencia.

Abstract—When natural disasters occur that affect low-income families who are helpless, it generally solves the need caused by the disaster through emergency housing made in one of the most inexpensive and abundant materials of nature as natural wood. This research project studied the use of emergency housing structured as modules so that they can join each other for multifamily housing. This study adopted an architectural design of a proposed emergency housing to be built with wood plastic composite and natural wood was modeled with the additional purpose of making comparisons between the two models. The results found that is cheaper and

works better from the structural point of view the solution in natural wood. Not taken into account the added value inherent in the plastic timber such as durability and maintenance-free.

Keywords—Natural Wood, emergency housing.

I. INTRODUCCIÓN

La madera natural es un producto orgánico abundante a nivel mundial [1] y en nuestro medio es utilizado mayormente para la elaboración de muebles y en arquitectura en estructuras de soporte de ciertas cubiertas tales como cerchas. También se utiliza frecuentemente en la realización de elementos temporales de construcciones como son los encofrados, formaletas y construcciones provisionales, tales como campamentos de obra.

La gran mayoría de soluciones de viviendas de interés social (VIS) propuestas por el estado Colombiano consisten en unidades habitacionales construidas en mampostería confinada. No son frecuentes las soluciones en madera natural aun cuando es un producto abundante y de naturaleza sostenible.

Este proyecto contempló la utilización de la madera natural en viviendas de emergencia de hasta dos niveles en el departamento de Córdoba, basados en un diseño arquitectónico proporcionado por la facultad de arquitectura de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería, ya que son una forma particular de VIS.

Las viviendas de emergencia son albergues temporales utilizados en situaciones de emergencia derivadas de catástrofes naturales, con un área de construcción aproximada de 9 a 25 m². Son desarrolladas en un solo nivel, elaboradas a nivel mundial con maderas naturales y construidas generalmente en terrenos de mala condición.

¹ J.E. Cruz Benedetti, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería Córdoba. Correo jorge.cruz@upb.edu.co

² L.E. Martínez Acosta, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería Córdoba. Correo luisa.martinez@upb.edu.co

³ J. Lakah Durango, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería Córdoba. Correo jaimelakah@upb.edu.co

⁴ J. Hernández Ávila, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería Córdoba. Correo jose.hernandez@upb.edu.co

⁵ A. López Ramos, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería Córdoba. Correo alvaro.lopez@upb.edu.co

Generalmente las técnicas tradicionales de poca calidad para la construcción de este tipo de viviendas son mediante el uso de uniones clavadas sin ningún tipo de diseño, lo cual ocasiona altos riesgos para los eventos de catástrofes naturales [2].

El proceso de explotación de la madera es relativamente sencillo y consiste en la tala de los árboles en los bosques maderables, su transporte al aserradero, su aserrado en diferentes piezas (tablas, listones), secado que puede ser natural o por medio de hornos e inmunización con el fin de alargar su vida útil. En este proyecto no se contempló ningún proceso de tratamiento como el de acetilización con impregnación de ácido acético [3].

Las ventajas de la madera natural son:

- Abundancia de la materia prima.
- Recurso renovable.
- Durabilidad mediana, si se seca e inmuniza.
- Facilidad de procesamiento.
- Buena resistencia.

En Colombia las viviendas de interés social son construidas por lo general en mampostería confinada, la cual tiene la desventaja de requerir mano de obra semicualificada y además, es relativamente costosa. Sin embargo, existe la posibilidad de utilizar la madera natural para el mismo fin, sobre todo para viviendas de emergencia.

Se ha comprobado que en general los códigos de análisis, diseño y construcción subestiman los daños ocasionados en las viviendas aporticadas de madera natural ante los embates catastróficos tales como sismos y los huracanes [4], [5].

II. METODOLOGÍA

Existen metodologías no lineales y estocásticas [6] para el análisis de este tipo de estructuras, en esta investigación se utilizaron métodos más elementales y aproximados que conducen a resultados confiables y válidos.

Los puntos desarrollados fueron:

a) Determinación de las propiedades mecánicas del producto. Están consignadas en los protocolos D198-08, D2395-07a y D4442-07 de la American Society for Testing of Materials (ASTM) [7]. En este caso se eligieron ensayos previamente realizados por autores reconocidos [8], [9].

Los tipos de madera de nuestra región se pueden resumir en la Tabla I [8], [10]:

TABLA.I
TIPOS DE MADERA DE LA REGIÓN

Tipo de madera	Nombre Científico	Densidad Básica	Grupo
Roble, Flor Morado	Tabebuia rosea	0,54	B
Cedro	Cederla angostifolia	0,42	C
Teca	Tectona grandis Line F.	0,53	C
Ceiba Amarilla – Blanca	Hura crepitans	0,41	C
Abarco	Cariniana Pyriformis Miers	0,33	B
Caoba	Swietenia macrophylla	0,43	C
Carreto	Aspidosperma Dugandii	0,77	A
Camajón	Stercolia apetala	0,43	C

Fuente: www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecnicas.html

La clasificación por grupo de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) [11], se basa en la densidad básica de la madera, la cual es directamente proporcional a la resistencia como lo indica la Tabla II.

TABLA.II
GRUPOS DE MADERA SEGÚN NSR-98

Grupo	Densidad Básica (gm/cm ²)
A	> 0,71
B	Entre 0,56 y 0,70
C	Entre 0,40 y 0,55

Fuente: NSR – 98

Se pre-seleccionaron cinco tipos de madera de acuerdo a sus costos y propiedades mecánicas como se indica en la Tabla III

TABLA.III
PROPIEDADES MECÁNICAS MADERAS

		TIPOS DE MADERA									
		ROBLE		CEDRO		CEIBA		AMARGO		CAMAJÓN	
Condición de humedad		Verde (>30%)	Seca al aire (12%)	Verde (>30%)	Seca al aire (12%)	Verde (>30%)	Seca al aire (12%)	Verde (>30%)	Seca al aire (12%)	Verde (>30%)	Seca al aire (12%)
Flexión Estática (Fb) (MPa)	ELP	39,58	57,53	23,13	40,96	12,05	23,62	47,53	-	25,19	40,67
	MOR	82,03	108,19	35,97	54,19	17,74	31,26	73,01	102,12	44,49	55,66
	MOE	12250	12152	5978	6958	2646	3920	12152	-	7840	9016
Compresión paralela (Fc) (MPa)	ELP	37,73	62,23	-	24,89	-	-	31,46	-	18,72	30,18
	MOR	-	-	19,01	38,51	9,31	18,62	40,18	58,02	21,56	34,10
	MOE	-	-	-	5292	-	-	16464	-	9114	11956
Compresión Perpendicular (Fp) (MPa)	ELP	4,12	6,37	2,16	4,90	0,78	2,16	-	-	3,63	3,82
	MOR	-	-	-	-	-	-	-	-	7546	5880
Cizalladora (Fv) (MPa)	Radial	8,92	13,82	-	-	2,35	3,43	-	-	5,59	5,10
	Tangencial	8,23	12,25	-	-	2,84	3,43	-	-	6,17	5,49
	Promedio	-	-	49,98	8,92	-	-	9,70	-	5,88	5,29
Dureza (Kg)	Radial	-	-	-	-	-	-	-	-	304	252
	Tangencial	-	-	-	-	-	-	-	-	289	222
	Lados	427	562	159	227	74	118	-	-	-	-
	Extremos	513	761	172	263	101	195	-	-	278	249
	Promedio	-	-	-	-	-	-	614	-	-	-
Tenacidad Ft (Kg-m)	Radial	2,06	1,5	-	-	1,22	0,96	-	-	-	-
	Tangencial	2,13	1,7	-	-	1,34	1,14	-	-	-	-
	Promedio	-	-	1,30	0,84	-	-	-	-	-	-
Extracción de clavos (Kg)	Radial	-	-	-	76	-	24	-	-	67	29
	Tangencial	-	-	-	76	-	18	-	-	62	30
	Promedio	-	-	-	52	-	20	-	-	-	-

Valores ajustados al 12% de contenido de humedad

Bajos Valores ocasionados por daños en la estructura interna de la madera, como resultado de colapso en el proceso de secado.

CONVENCIONES

ELP= Esfuerzo en Límite Proporcional

MOR- Módulo de Ruptura

MOE= Módulo de Elasticidad

Fuente: Maderas Comerciales en el Valle de Aburrá. Ángela Vásquez, Alejandra Ramírez. Editorial Área Metropolitana

De esta preselección se escogió finalmente el camajón y el roble por su bajo costo y propiedades mecánicas aceptables y por último se decidió trabajar con el roble porque aunque su precio es un poco más alto, su resistencia a la humedad combinada con una buena inmunización garantiza una larga duración.

b) Modelo arquitectónico: Es innegable que el diseño en planta tiene una incidencia importante en el desempeño de las viviendas sencillas aperticadas en madera [12]. Este proyecto forma parte de una tesis de grado de arquitectura y consiste en módulos de viviendas de 2,88x2,88 m que se adosan entre sí para formar un modelo más complejo de dos niveles [13]. No se modelizaron las particiones exteriores e interiores, las cuales le proporcionan alguna rigidez adicional [14]:

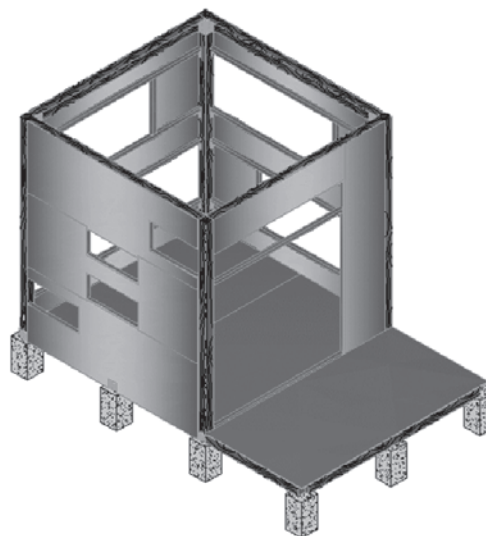


Fig. 1. Módulo básico de vivienda de emergencia
Fuente: Elaboración propia

Los módulos básicos son ensamblados como un mecano por medio de uniones en ángulos de 4"x4"x 1/4" con dos pernos galvanizados de 16 mm de diámetro por unión, ya que de no colocarle el ángulo, se podrían presentar debilidades en las juntas apernadas al momento de recibir la fuerza de viento [4]. Inicialmente se le aplicaron cargas sísmicas estáticas, pero el modelo no cumplió con los requisitos de deriva y se descartó esta posibilidad [5], [6]. Cada módulo básico es empaquetado como kit con instrucciones para un fácil armado.

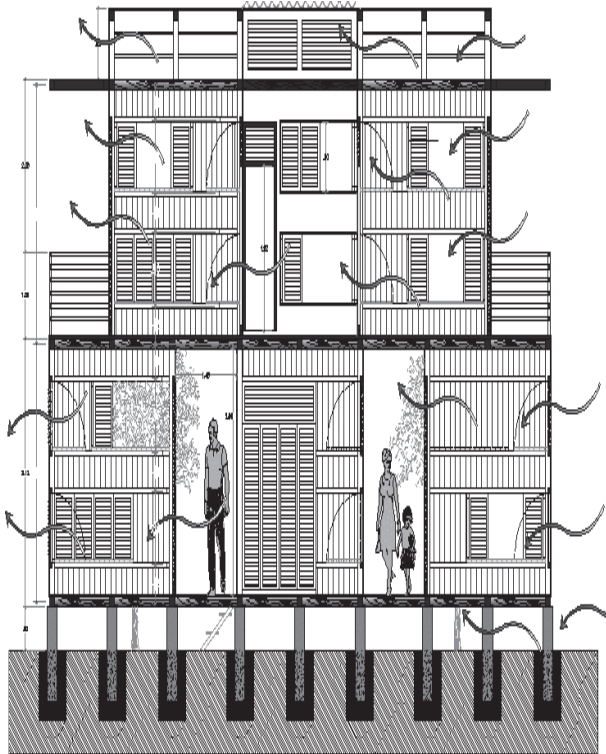


Fig. 2 Módulo compuesto de dos módulos básicos
Fuente: [13]

c) Modelo estructural: se usaron las siguientes secciones: columnas de 200x200 mm y 150x150 mm; las vigas principales de 150x300 mm y las auxiliares y los pares de 100x250 mm y 75x150 mm respectivamente. Todo el conjunto está montado sobre pilares en concreto reforzado (CR) de 21 MPa con secciones de 20x20 cm y longitud de 1 m con el fin de prever posibles inundaciones, apoyados a su vez en zapatas aisladas en CR de 1.20x1.20x0.30 m.

La capacidad portante asumida fue de 50 kPa de acuerdo a la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) en

ausencia de estudio de suelos, vigente en la fecha del proyecto.

Se colocaron pares de madera con la inclinación de la cubierta para la modelización de esta.



Fig. 3 Modelo estructural módulo compuesto
Fuente: Elaboración propia

Con el fin de resistir fuerzas laterales de viento al modelo se le colocaron riostras horizontales coincidentes con los dinteles de puertas y ventanas. No se consideró el aporte de los bloques ni el revestimiento en madera natural o plástica para la rigidez de la estructura.

La deriva permitida según la NSR-98 es de 1.00% de la altura del entrepiso.

El modelo matemático estructural se hizo en ETABS [18] y se le aplicó fuerzas verticales de gravedad por peso propio y carga viva de 1.8 kN; las cargas horizontales fueron de viento con presiones correspondientes a una velocidad de viento de 80 kph y sismo mediante el método de la fuerza horizontal equivalente.

Para el modelo estructural se trabajó con los siguientes valores:

- Módulo elástico: 12,152 MPa (análisis).
- Compresión paralela: 62.23 MPa (diseño).
- Compresión perpendicular: 6.37 MPa (diseño).

- Flexión: 108.19 MPa (diseño).
- Corte: 12.25 MPa (diseño).

III RESULTADOS

El modelo estructural se comportó aceptablemente ante la acción de cargas verticales y cargas de viento; las solicitaciones máximas también están dentro de lo permitido de conformidad con el Título G de la NSR-98.

- Deflexión máxima cargas verticales: 1.09 cm.
- Derivas viento (80 kph)
- Sentido X: 0.66%
- Sentido Y: 0.21%

La comparación de las deflexiones y derivas entre los dos sistemas se puede resumir en la Tabla IV:

TABLA.IV
COMPARACIÓN DERIVAS ENTRE DIFERENTES SISTEMAS

	Deflexión vertical (cm)	Deriva viento X (%)	Deriva viento Y (%)	Riostras rigidizadoras
Madera plástica*	2,54	1,09	0,33	Si
Madera natural	1,09	0,66	0,21	No

* Viento de 80 Kph

Las solicitaciones más desfavorables encontradas fueron:

TABLA.V
SOLICITACIONES MÁXIMAS EN LOS ELEMENTOS

Solicitaciones más desfavorables (N, mm)		
Elemento	Viga B26	Columna C9
Momento	11.564.337	7.413.927
Axial	0	58.355
Cortante	12.039	4.865

Fuente: Elaboración propia

Estas cumplieron con lo requerido en el Título G de la NSR-98.

Los costos de la solución en madera natural y en madera plástica se resumen así:

TABLA.VI
COMPARATIVO DE COSTOS

Comparativo costos	
Madera natural	147,903
Madera plástica	3,279,775

Precios septiembre 2009
Fuente: Elaboración propia

IV CONCLUSIONES

El modelo propuesto de viviendas de emergencia en dos niveles tiene un buen comportamiento estructural ante fuerzas de viento y cargas verticales y por lo tanto sirve adecuadamente para este tipo de soluciones.

El valor de la vivienda de emergencia en madera plástica es veintidós veces mayor que en madera natural, sin tomar en cuenta los valores agregados de la primera tales como abundancia de la materia prima, bajo impacto ambiental, gran durabilidad y poco mantenimiento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro Integrado para el Desarrollo de la Investigación CIDI por su patrocinio; a la Escuela de Ingeniería y Arquitectura y a los docentes y estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil, que de una u otra forma han contribuido con ideas, información y soporte en el proceso de estructuración del proyecto artículo.

REFERENCIAS

- [1] Barbara Sandrisser, "Traditional Japanese low-technology approach to housing: an essay on wood," , Mexico City, 1985.
- [2] Yue Li and Bruce R. Ellingwood, "Mitigacion of risk to wood-frame residential construction from natural hazards," , Portland, 2006.
- [3] N.A. Fadhil and A.H. Basta, "Enhancement of the dimensional stability of natural wood by impregnates," vol. 34, no. 2, 2005.
- [4] David V. Rosowsky and Bruce R. Ellingwood, "Performance-based engineering of wood frame housing: Fragility analysis methodology," vol. 128, no. 1, 2002.
- [5] John W. Van De Lindt and Mason Taggart, "Fragility analysis methodology for performance-based analysis of wood-frame buildings," vol. 10, no. 3, 2009.
- [6] Bruce R. Ellingwood, David V. Rosowsky, and Weichiang Pang, "Performance of light-frame wood residential construction subjected to earthquakes in regions of moderate seismicity," vol. 134, no. 8, 2008.

- [7] American Society for Testing of Materials, "American Society for Testing of Materials,".
- [8] Universidad Nacional de Medellín. Universidad Nacional de Medellín. [Online]. HYPERLINK "www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecncias.html" www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecncias.html
- [9] Angela Vásquez and Alejandra Ramírez, *Maderas Comerciales en el Valle de Aburrá*. Medellín: Editorial Área Metropolitana, 2005.
- [10] Jaime Salazar Contreras, *Maderas Colombianas: Propiedades y criterios de diseño*. Bogotá DC: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [11] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*. Bogotá, 1998.
- [12] Kraisorn Lucksiri, "Effect of plan configuration on seismic performance of single story wood frame dwellings," vol. 13, no. 1, 2012.
- [13] Luisa Fernanda Herrera, "Desarrollo de elementos estructurales y no estructurales en plástico reciclado para su aplicación en proyectos arquitectónicos," Montería, 2009.
- [14] Iroshi Okiura et al., "Full-scale shaking table test of 3-story wood-frame construction buildings," , Miyazaki, 2008.
- [15] Maher Jaafari and Henry Liu, "Assessment of wind damage to wood-frame houses," , Washington DC, 1996.
- [16] Chun Ni et al., "Assessment of seismic resistance of convencional wood-frame houses," , St. Louis, 2006.
- [17] Chun Ni, Hans Rainer, Ghasan Doudak, Haiyan Zhang, and Helen Guo, "Performance pf wood-frame construction in seismic event - A field survey of the May 12 Wenchuan Earthquake," , Trentino, 2010.
- [18] Computer & Structures. ETABS Extended 3D Analysis of Building Systems.



Jaime Andrés Lakah Durango, Especialista en Gerencia para ingenieros, UPB Montería, Ingeniero Civil, Universidad de Cartagena, Director de Facultad de Ingeniería Civil, UPB, Montería, Córdoba. Intereses de investigación Vías y Pavimentos.



José Rodrigo Hernández Ávila, Magister en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Especialista en Estructuras, Universidad del Norte, Ingeniero Civil, Investigador UPB, Montería, Colombia, Docente interno Facultad de Ingeniería Civil, UPB, Montería, Colombia. Intereses de investigación en Estructuras y Construcción.



Álvaro López Ramos, magister en Recursos Hidráulicos del Colegio de Postgraduados de México, Ingeniero Civil, Universidad de Cartagena, Docente tiempo completo UPB, Montería, Córdoba. Intereses de investigación en Estructuras Hidráulicas, Hidrología e Hidráulica.

BIOGRAFÍA



Jorge Enrique Cruz Benedetti es especialista en Gerencia de Proyectos de Construcción de la Universidad de Cartagena y en Análisis y Diseño de Estructuras de la Universidad del Norte y actualmente es docente interno en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería y además es asesor en diseños estructurales. Sus investigaciones se

relacionan con nuevos materiales y estructuras en general.



Luisa Martínez Acosta, Magister en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Ingeniera Civil, UPB Montería, Docente Interno Facultad de Ingeniería Civil, UPB Montería, Colombia. Intereses de investigación en Hidráulica y Calidad del Agua.