

TÉCNICA / MEDIO AMBIENTE / CLIMA / SOSTENIBILIDAD
TECHNIQUE / ENVIRONMENT / CLIMATE / SUSTAINABILITY

Propiedades mecánicas de vigas "I" con alas laminadas encoladas en bambú y alma de melina en Costa Rica

Mag. Viviana Paniagua, Arquitecta / PhD. Roger Moya, Ingeniero en Maderas

Universidad de Costa Rica, Escuela de Arquitectura

Investigadora y profesora

viviviph@gmail.com

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Investigador y profesor

Invitado Nacional

rmoya@itcr.ac.cr

Recibido : Febrero-2014 / Aceptado : Abril-2014

RESUMEN

En la búsqueda de elementos estructurales versátiles y eficientes se genera el interés de construir vigas laminadas con plywood de melina (*Gmelina arborea*) y alas de bambú (*Guadua angustifolia*) laminado encolado, para utilizarlas principalmente en vivienda. En este estudio se analizaron vigas de sección I con alas de bambú laminado encolado y alma de plywood de melina con un peralte de 18,5 cm de altura. Las vigas fueron ensayadas en tamaño natural en flexión estática y cortante. Los resultados mostraron que el módulo de ruptura en flexión promedio de 39,45 MPa y el módulo de elasticidad promedio 17,05 GPa. En la prueba en cortante se encontró que el esfuerzo en la línea de cola fue de 5,95 MPa y en el esfuerzo laminar fue de 6,45 MPa. En relación con los esfuerzos de diseño se determinó que esfuerzo a flexión es de 94,28 kg/cm² y a cortante de 47,2 kg/cm². Finalmente, al derivar las tablas de longitud permisibles para usar las vigas en usos de entresijos o techo, se encontró que estas longitudes pueden variar de 2,6 m a 3,7 m en el caso de entresijos y de 5 a 7 metros en techos.

Palabras claves: bamboo I-joists; flexural strength; shear strength; plantation wood, tropical material.

ABSTRACT

The search for efficient and versatile structural elements, leads the interest to fabricate I-joist (6.5 cm × 18.5 cm × 600 cm (width × depth × length) with glue bamboo (*Guadua angustifolia*) in the flanges and *Gmelina arborea* 12-mm structural plywood in the web. The results showed a modulus of rupture (MOR) of 39.45 MPa and a modulus of elasticity (MOE) of 17.05 GPa. Shearing in glue line was 5.95 MPa and in laminated strength of 6.45 MPa. Structural design values averaged 9.43 MPa in the bending test and 4.72 MPa in the shear stress according to Costa Rican structural standards. Both resistance value (flexure and shear) was considered satisfactory for structural proposes and I-joist fabricated with bamboo and *G. arborea* plywood can be compared with "C" structural grade Andean classification group. The use of this I-joist was also shown in roofing and flooring systems. And this beam produce optimum allowable span for the market, from 2 to 7 m in span for roofing systems and from 5 to 7 m for roofing application.

Keywords: *Guadua angustifolia*; flexural strength; shear strength; plantation wood, tropical material.

INTRODUCCIÓN

El bambú es un material alternativo de gran potencial a nivel mundial, debido a su gran diversidad y disponibilidad. Se estima que existen alrededor de 1250 especies, pese a esto solo 20 han sido estudiadas y se consideran aptas para aplicaciones estructurales, (López, 2009) El bambú ha sido utilizado en construcciones desde hace siglos, debido a su excelente relación resistencia-peso, alta sostenibilidad, velocidad de crecimiento (generalmente menor a 5 años) y flexibilidad para la creación de diferentes formas geométricas (Arcila, 1993). A pesar de esto, en el mundo se han realizado pocas investigaciones sobre laminados de bambú (Wei et al., 2011). A pesar que son pocos los estudios sea se ha demostrado que el bambú presenta buena resistencia estructural (Aschheim et al., 2010).

El bambú *Guadua angustifolia Kunth*, es especie que pertenece a la familia de las Poaceae y sobresale por el gran tamaño de sus culmos, los cuales alcanzan hasta 25 metros de altura con diámetros que oscilan entre 10 y 18 cm (López, 2009) con los cuales se ha construido casas, hoteles y puentes (Arcila, 1993). Estudios recientes han mostrado que el bambú puede ser utilizado en la construcción de elementos estructurales; por ejemplo Naresworo y Ando (2000) desarrollaron una viga compuesta y reforzada con bambú, en tanto que López y Correal (2007) y Wei. et al. (2011) fabricaron vigas laminados estructurales de bambú *G. angustifolia* y *Phyllostachys* (conocida como moso), respectivamente. Mientras que Yeh et al. (2008) y Xiao y Yan (2008) construyeron flexión de vigas estructurales cajón elaboradas de bambú/madera y vigas "Glubam" entre madera-bambú, respectivamente.

Recientemente, Aschheim et al. (2010) fabricó vigas compuesta de bambú en las alas y diversos materiales como OSB o plywood en el alma.

Aunque existen diferentes secciones de vigas, en eficiencia en flexión y desde el punto de vista de la resistencia, el comportamiento estructural es gobernado por la sección transversal (Gere, 2009). Una viga eficiente es aquella en la que el material se ubica tan lejos del eje neutro, aumentando el módulo de sección

y por tanto un mayor momento flexionante (Gere, 2009). Una sección tipo "I", que tienen la mayoría de su material en las alas, y debido a esta razón es que esta sección presenta excelente momento de sección y momento flexionante (Gere, 2009). Otra característica deseable de una viga I, es su mayor anchura y, por ende, mayor estabilidad respecto al pandeo lateral, cuando se compara con una viga rectangular de la misma altura y módulo de sección; por otro lado hay límites de esbeltez del alma de una viga, ya que si el alma es demasiado delgada, será susceptible al pandeo localizado, o puede ser sobre esforzada en cortante (Gere, 2009).

En tanto que en Costa Rica, por ser un país de área limitada, se generan una serie de materias primas para la producción de vigas laminadas, entre las que destaca las maderas de plantaciones como *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* o *Acacia mangium* (Tenorio et al., 2012; Moya et al., 2013) y de bambú *G. angustifolia* (Deras 2003). Desde el punto constructivo, las vigas I construidas de bambú se destacan por su eficiencia con un apropiado diseño. Asimismo, la creciente demanda de desarrollar materiales compuestos a base de madera, como la madera contrachapada, vigas laminadas, vigas I, entre otros (Aydin et al. 2004; Leichti et al. 1990; Maloney 1996), hace que el desarrollo de productos compuestos entre la madera de plantaciones y el bambú sea una opción en países de pocas extensiones de plantaciones y de bambú, aptos para las construcciones civiles (Sotela, 1994). La fabricación de una viga I compuesta, en donde el alma es construída de plywood con características estructurales (Tenorio et al., 2011, 2012; Moya et al., 2013) y las alas con bambú, en donde se aprovecha la mayor dimensión posible de las latas (secciones curvas obtenidas a partir del corte longitudinal de la caña).

En la búsqueda de elementos estructurales primarios de la construcción, versátiles y eficientes, se generó el interés particular en el presente estudio por construir vigas laminadas con plywood de *G. arborea* y alas de bambú laminado, donde las láminas son colocadas en paralelo al peralte de la viga y los respectivos ensayos de resistencia en flexión para la elaboración de las tablas de diseño para utilizar las vigas como entresijos y techos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Las vigas tipo I utilizadas en este estudio constan de 2 componentes: (i) las alas fabricada con bambú *G. angustifolia* laminado y las almas de madera contrachapada de *G. arborea*. El bambú utilizado de plantaciones del sector Arenal provincia de Guanacaste en Costa Rica. El bambú fue obtenido de cañas de 4 años, con un diámetro promedio de 10 cm y longitud de 4 m. En tanto que el plywood fue fabricado con madera de *G. arborea* proveniente de plantaciones de rápido crecimiento y árboles provenientes entre el 3^{er} raleo y la cosecha final en la región sur de Costa Rica. Este plywood es construido en 5 chapas formando un espesor de 12 mm y presenta características estructurales (Tenorio et al., 2011).

Diseño

Como fue mencionado, las vigas fueron construidas con alas de bambú laminado (Figura 1a) y las almas de madera contrachapada de 12 mm de espesor (Figura 1b). En las alas se aprovecha la mayor dimensión posible de las latas o lamelas y en el alma se utilizó madera contrachapada, ya que este es un producto más factible de encontrar en el mercado de Costa Rica (Tenorio et al. 2012). Las vigas I presentan dimensiones de 6,5 cm en ancho y una altura de 18,5cm (Figura 1c). Las alas fueron diseñadas con latas (tablillas o lamelas) de bambú laminado con un promedio de 15 lamelas de aproximadamente 4 mm de espesor. En el ala fueron encoladas tangencialmente las latas en toda su longitud y paralelo al eje de la vigas, con la finalidad de hacer pegas a lo ancho de la lámina y no al espesor de las alas (Figura 1c).

Proceso de fabricación

Las alas fueron construidas en la empresa Xilo S.A. (www.grupoxilo.com) y en el Centro de Integración Bosque Industria CIIBI del Instituto Tecnológico de Costa Rica (www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/ciibi/).

Los culmos de bambú fueron "lateadas" como comúnmente se conoce al proceso de seccionamiento, en 8 secciones de aproximadamente 45 grados cada uno

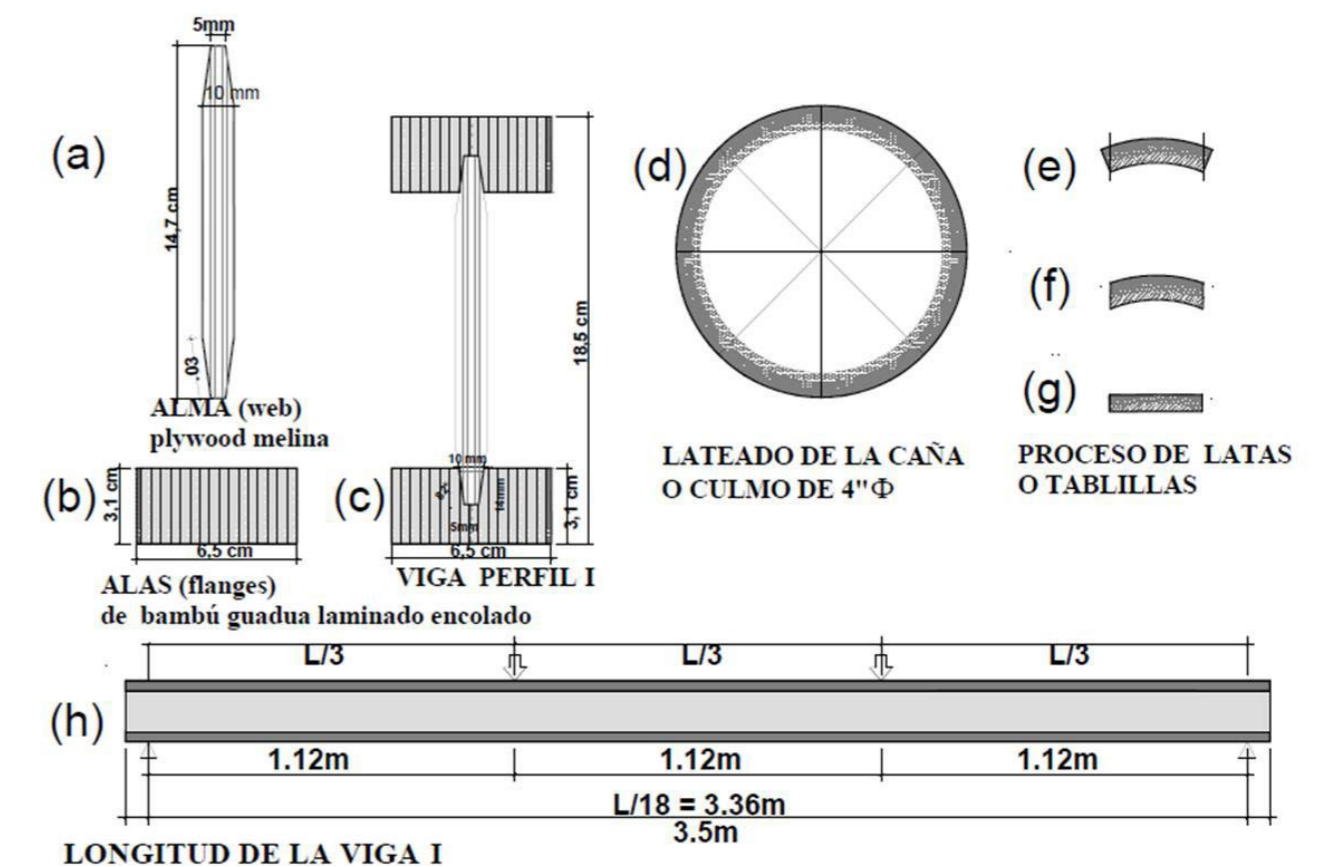


FIGURA 1C: Diseño utilizado en las vigas I, obtención de las latas de los culmos y ubicación de la aplicación de las cargas. Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013)

(Figura 1d). En este proceso se obtienen las "latas" (tablillas o lamelas de bambú) de aproximadamente 4 mm de espesor (Figura 1e), las cuales se secaron a un 12% de contenido de humedad. Posteriormente, las latas fueron cepilladas (Figura 1f) con el fin de dejar sus caras planas (Figura 1g). Las latas una vez cepilladas con y que presentaban un ancho superior a 64 mm se seleccionaron para construir las alas. Posteriormente, entre 15 o 16 latas fueron encoladas tangencialmente para formar una pequeña viga laminada. Para el encolado de las latas fue utilizado melamina urea formaldehído como adhesivo a una presión de 137 MPa por 8 horas a temperatura ambiente.

Finalmente, la pequeña viga fue cepillada y construido su canal para ensamblar el plywood (Figura 1c).

Determinación de la densidad y del peso de las vigas

Una vez ensayadas las vigas en flexión, se tomó una muestra de la misma de 5 cm de longitud. Esta muestra se pesó y se determinó su volumen para así calcular la densidad de la viga, por medio de la relación de la madera entre el volumen. Posteriormente, este valor fue utilizado para calcular el peso total de la viga, considerando el volumen de la viga entre los dos puntos de apoyo.

Ensayos mecánicos

Las vigas fueron probadas en flexión estática con la ayuda de una máquina universal de pruebas, marca Tinius Olsen, con capacidad para 60 toneladas. Para las condiciones de separación entre apoyos, velocidad de carga y determinación de deflexión, se siguieron los procedimientos de la norma americana ASTM D-198-09 utilizando dos tipos de cargas. Mediante estos ensayos se determinó el módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR), mediante las ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$\text{MOE (kg/cm}^2\text{)} = \frac{0,852F_p * L^2}{4 * I * y} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$\text{MOR (kg/cm}^2\text{)} = \frac{F_{\text{Max}} * L * H}{6 * I} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde: F_p : Carga en el límite de proporcionalidad (Kg), $F_{\text{máx}}$: Fuerza máxima (Kg), L: Largo entre los apoyos (cm)

I: momento de inercia (cm⁴)

y: deflexión en el límite de proporcionalidad (cm)

H: altura de la viga, 10 c, para el perfil 1, 16,5 cm para el perfil 2 y 24,2 cm para el perfil 3.

Ensayo de línea de cola

Una vez que las vigas fueron ensayadas en 15 vigas se obtuvo una muestra de aproximadamente 25 cm de largo de las alas en una sección lejos de la zona de falla (Figura 1i). En esta muestra se obtuvo 4 muestras de 6,5 cm de cada sección de la viga (60 muestras en total) siguiendo la norma ASTM D -905-08. La totalidad de las muestras fueron separadas en dos grupos de 30, y a un grupo se realizó el ensayo cortante en la línea de adhesivo (o cola) y al otro grupo el ensayo en cortante en la fibra, entre dos líneas de cola (Figura 1j).

Derivación de los esfuerzos de diseño

Fueron derivados los esfuerzos de diseño para las vigas construidas, las cuales serán usadas en entresijos y techos. En la derivación de los esfuerzos de diseño, la viga fue analizada estructuralmente en 3 tipos de aspectos: (i) capacidad a flexión, (ii) capacidad a cortante y (iii) deflexión en el centro del claro. La capacidad a flexión consiste en la determinación de la máxima carga distribuida que puede soportar una viga de longitud y peralte establecidos, tomando en cuenta únicamente el esfuerzo de rotura máximo. La capacidad a

cortante consiste en la determinación de la máxima carga distribuida que puede soportar una viga de longitud variable y de varios peraltes, tomando en cuenta únicamente el esfuerzo de máximo cortante en los apoyos. Y, finalmente, la deflexión en el centro del claro consiste en la determinación de la máxima carga distribuida que puede soportar una viga de longitud variable y de varios peraltes, tomando en cuenta únicamente la deflexión máxima.

Con la información de los valores de MOE y MOR obtenidos durante los ensayos en la máquina de ensayos se seguirán los siguientes pasos para la derivación de los esfuerzos de diseño: (i) cálculo del momento del peso de la viga (M_{pp}) (Ecuación 4), (ii) con dicho valor se calculó el momento de ruptura (M_{rup}) (Ecuación 5), y (iii) el MORc (Ecuación 6), mediante el M_{rup} ya que este es el valor señalado como adecuado en el código sísmico de Costa Rica (CFIA 2010).

$$M_{pp} = \frac{\text{Peso}_{\text{viga}} * L}{8} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$M_{rup} = \frac{C_{\text{máx}} * L}{2 * 3} + M_{pp} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$\text{MORc} = \frac{M_{rup} * \left(\frac{1}{2}\right)}{I} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

M_{pp} : momento del peso de la viga (kg-cm)

M_{rup} : momento de ruptura (kg-cm)

MORc: módulo de ruptura (Kg/cm²)

$C_{\text{máx}}$: carga máxima (Kg)

L: Largo entre los apoyos (cm)

I: momento de inercia (cm⁴)

H: altura de la viga (cm)

Con los valores del MORc se realizó una distribución de frecuencias y se seleccionó el 5^{to} percentil como el valor del esfuerzo de flexión paralelo a la fibra, el cual fue utilizado en capacidad de flexión y capacidad de cortante (f_{m_f} y f_{m_c} respectivamente). Con el valor promedio del MOE y el f_{m_f} más un factor de duración de carga temporal (0,8) (AITIM 1996), se obtuvo un esfuerzo a flexión paralelo a la fibra de diseño (F_d), y con este se calculó el MOR de diseño en flexión.

En tanto que, en la capacidad de cortante mediante el uso del f_{m_c} y un factor de corrección de 0,5 (AITIM 1996) se calculó un esfuerzo a cortante (F_v), y con este valor se obtuvo el valor final de cortante (V_u).

Finalmente, para la deflexión en el centro del claro, se tomó el MOE promedio de las vigas y la inercia (American Wood Council 2005) para calcular la rigidez a flexión ($E \cdot I$). Para este caso, la deformación permitida que se utilizó fue para entrepisos de habitaciones y comerciales; corresponde a la luz entre apoyos entre 3,60 m, para el caso de techos con revestimientos corresponde a la luz entre apoyos entre 2,40 m.

Tabla de diseño de entrepisos y techo

Con el fin de mostrar la utilidad de los valores de diseño se presentan los cálculos para la separación de una viga a otra (S) (Figura 2) para tres distancia, de 40, 60 y 80 cm en pisos y en techos, comúnmente utilizadas en Costa Rica.

En la obtención de estas figuras se determinó la longitud máxima permisible de diseño. Dicha longitud se calculó para los tres posibles esfuerzos que se presenten en las vigas: flexión, cortante y rigidez de deformación, y se seleccionó

Tabla 1. Descripción de uso para las cargas temporales unitarias mínimas establecidas en el código sísmico de Costa Rica para uso en entrepisos. Fuente: Código Sísmico de Costa Rica CFIA 2010

Uso para Cargas temporales unitarias mínimas de acuerdo al CSCR	CT Carga Temporal kg/m2
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).Azoteas con pendiente inferior a 5 %	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares.	250
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares). Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300
Escaleras, rampas, vestíbulos, pasajes de libre acceso al público. Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	350
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, Bibliotecas, salones de archivo. Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera.	450
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con peso intermedio.	550
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada.	700

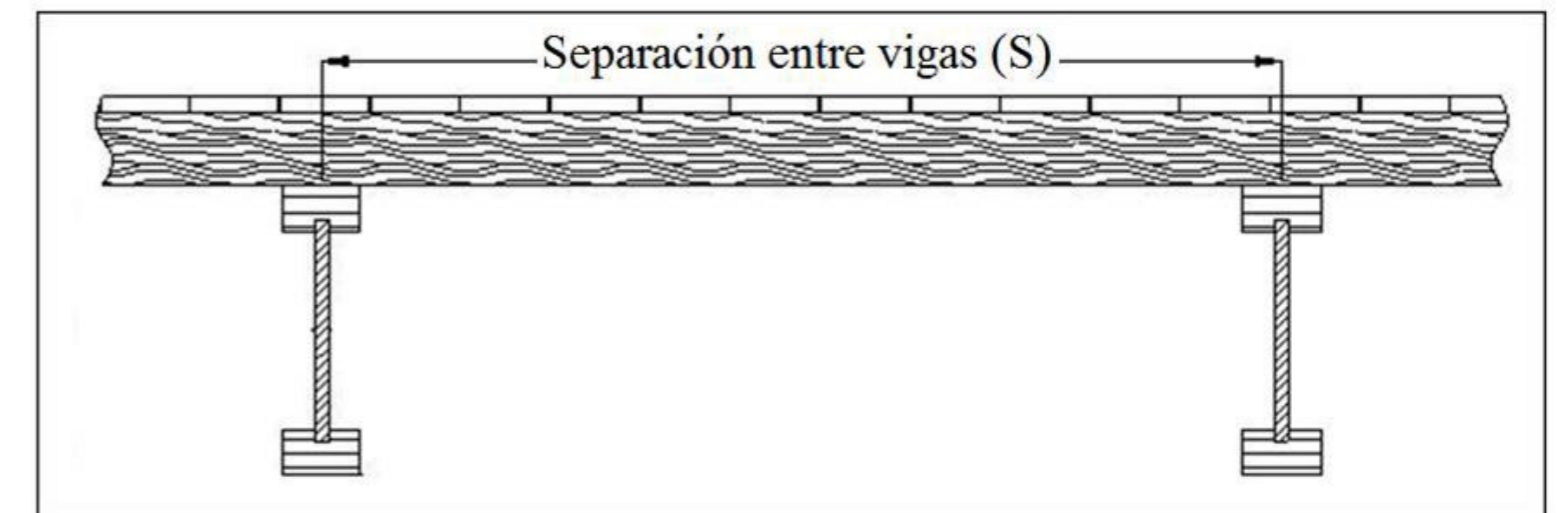


Figura 2. Separación de las vigas durante la utilización en entrepisos y techos. Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013). Fuente: Código Sísmico de Costa Rica CFIA 2010

el menor de los tres para ser utilizado en las tablas de diseño. En el caso de las tablas de diseño para entrepisos, al esfuerzo seleccionado se le aplicaron diferentes usos para cargas temporales unitarias mínimas establecidas en el código sísmico de Costa Rica (CFIA 2010) y detalla en la tabla 1, además de sobrecargas adicionales con rangos de 50 a 150 cada 25 kg/m², para posibles usos de vigas en entrepiso. En el caso del uso en techo, el valor de diseño seleccionado se le aplicó una carga temporal unitaria mínima de 40 kg/m² establecida en el código sísmico de Costa Rica (CFIA 2010), como uso para techos de fibrocemento, lámina de acero galvanizado y otros, además de sobrecargas adicionales con rangos de 20 a 120 cada 20 kg/m².

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resistencia a la flexión estática y al esfuerzo en cortante

Los valores promedio de resistencia en flexión y en cortante para la viga I construida con alma de plywood de *G. arborea* y alas de bambú son presentados en la tabla 3. Fue encontrado que las vigas fabricadas en el ensayo en flexión estática presentan un módulo de ruptura que varía de 21,56 a 60,17 MPa, con un promedio de 39,45 MPa, en tanto que el módulo de elasticidad promedio es de 17,05 GPa y una variación de 8,47 a 19,91 GPa. En relación a la prueba en cortante se encontró que el esfuerzo en la línea de cola fue de 5,95 MPa y en el

esfuerzo laminar fue 6,45 MPa (Tabla 3). Al comparar estos resultados con otros estudios se tiene que estos valores de esfuerzo son mayores a los reportados por Barreto (2003) y Durán (2003) también con bambú *G. angustifolia*, pero utilizando como adhesivo urea-formaldehído, polipropileno y polivinilo acetato (PVA). Sin embargo López y Correal (2007) reporta un valor de 7,92 MPa, valor superior a los encontrados en el presente estudio. La diferencia encontrada entre nuestro estudio y los reportados anteriormente se debe el tipo de adhesivo empleado. En nuestro estudio fue utilizado melamina-urea formaldehído que presenta un comportamiento estructural mejor que el caso del urea formaldehído o el PVA.

Al comparar los valores de resistencia de esta combinación de materiales con estudios realizados por Ashheim et al. (2010), también con vigas I fabricadas con alas de bambú y alma de OSB con una ala de dimensiones de 7,62 cm de ancho y 3,81 cm de ancho y una altura de la viga de 24,1 cm, se encontró una resistencia en flexión de 36 MPa, un MOE de 14 GPa y un esfuerzo en cortante de 1.7 MPa para el OSB de bambú y de 0.94 para el plywood del mismo material, valores ligeramente menores a los obtenidos en el presente estudio. Otro aspecto positivo de la fabricación de las vigas I con alas de bambú, además que su valor es ligeramente más alto que lo reportado por Aschheim et al. (2010), es que las

vigas del presente estudio tienen un peralte más bajo (18,5 cm) en relación al anterior estudio (24,1 cm). En otro estudio con vigas de 18 cm alto de madera de *Pinus taeda* y *Eucalyptus dunnii* se tiene que en estas especies presentan valores de MOR de 91 a 102 MPa y MOE de 13 GPa, valores superiores e inferiores respectivamente a los encontrados para las vigas con alas de bambú. Estas diferencias en los valores de MOR y MOE pueden ser atribuidas a la conformación del alma y de las alas. En el caso del estudio realizado por Pedrosa et al. (2005), se ensayaron vigas I fabricadas con almas de Oriented strand boards (OSB) y zapatas de madera laminada (LVL), a diferencia de este estudio que utilizó alas de bambú laminado encolado y almas de plywood de melina, que en el caso del OSB es estructuralmente superior al plywood (Sheldon and Walker, 2006).

Por otro lado, al comparar los valores de MOR y MOE de las vigas I con alas de bambú con diferentes perfiles y calidades de las vigas I con las mismas dimensiones de las alas, pero de madera sólida de *G. arborea* y plywood nuevamente en el alma (Moya et al., 2011), se encontró que las vigas con alas de bambú presentan valores de MOR y MOE superior a las vigas de *G. arborea* con altura de vigas de 10,0; 16,5 y 24,2 cm, indicando con ello que las vigas de bambú, con altura de 18,5 cm presentan mayor resistencia a la flexión que las vigas de melina con la altura de mayor a 24,2 cm. Al presentar la relación existente entre la carga aplicada y la deflexión producida en las vigas con alas de bambú y las fabricadas con alas de *G. arborea* (Figura 3) se observó que las vigas con alas de bambú de melina presentan una menor deformación con la carga en relación a las vigas de melina con cualquier dimensión o calidad. Por ejemplo, para una deformación de 2,0 cm con una viga con alas de bambú se necesita una carga de aproximadamente 650 kg, pero si esta viga es construida con alas de madera sólida de *G. arborea* se necesita una carga que varía de 350 a 500 kg.

Tabla 2. Valores de resistencia promedio obtenidos para las vigas I con alas de bambú *Guadua angustifolia*
Fuente: Código Sísmico de Costa Rica CFIA 2010.

Nota: los valores en paréntesis corresponden a los coeficientes de variación y los valores entre paréntesis cuadrados representa los mínimos y máximos valores. Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013)

Prueba en flexión estática	Densidad promedio viga (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
	463,70 (102) [304-536]	39,64(9,94) [21,89- 58,33]	16,37(4,04) [8,34 -18,80]
Prueba en cortante	Densidad promedio alas de BLE (Kg/m ³)	Esfuerzo máximo línea de cola (MPa)	Esfuerzo máximo laminar(MPa)
	822,39 (58,56) 926,32-729,02]	5,95 (1,61) [3,02-9,11]	6,45 (2,58) [3,23-9,32]

Esfuerzos de diseño

Las vigas con alas de bambú poseen el valor de esfuerzo a flexión (Fd) de 94,28 kg/cm² y a cortante de 47,2 kg/cm². Al comparar estos valores con las vigas construidas con alas de melina (Moya et al., 2013) se encontró que las vigas de bambú presentan un valor de esfuerzo en flexión (Fd) y en cortante (Fv) menor

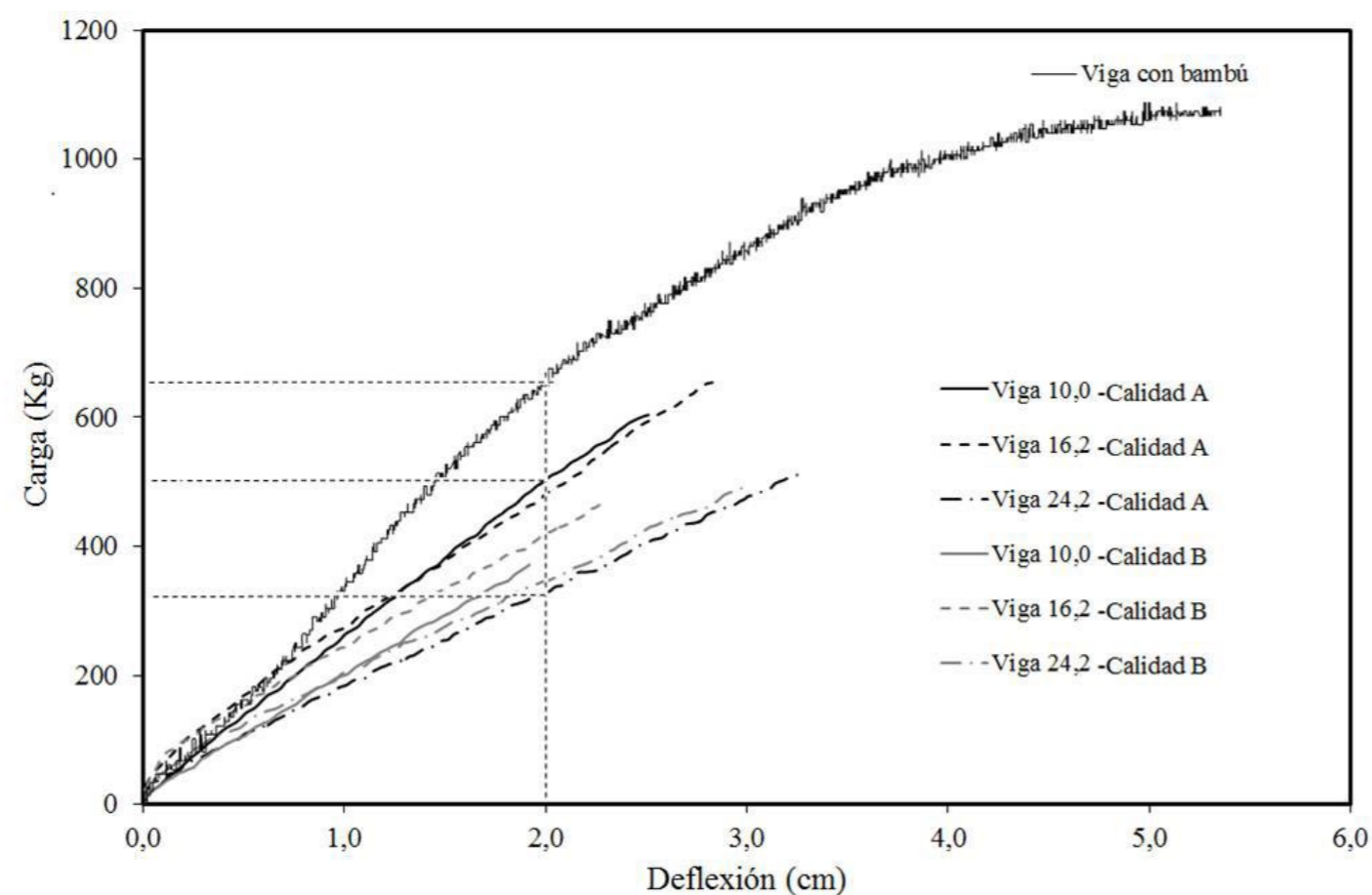


Figura 3. Comparación de la relación carga vs deflexión para los diferentes tipos de vigas I utilizadas de *G. arborea* (Moya et al., 2013) y vigas I con alas de bambú. Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013)

a las vigas con alas de melina de calidad A, pero el esfuerzo de diseño es mayor que la calidad B para cualquier tipo de altura de las vigas con alas de melina (Tabla 4). Con respecto a la rigidez a flexión ($E \cdot I$), de las vigas con alas de bambú fue de $474\,190\,144\text{ kg-cm}^2$, siendo este valor mayor que lo reportado por Moya et al. (2013) para vigas con alas de madera sólida de melina (Tabla 4).

De acuerdo a la clasificación propuesta para el Grupo Andino para las maderas de los países de América del Sur (Keenan et al., 1987), el grupo estructural "C" de especies (con una densidad básica de 0,40 a 0,55) presentan esfuerzos admisibles en flexión (F_d) de 100 kg/cm^2 y esfuerzo en cortante de 8 kg/cm^2 , valores ligeramente similar e inferior a las vigas I con alas de bambú, que presentaron valores de $94,28$ y $47,2\text{ kg/m}^2$, respectivamente.

Perfil	Calidad	Mpp (kg-cm)	Mrup (kg-cm)	MORc (MPa)	Fd (kg/cm ²)	Fv (kg/cm ²)	E*I (kg-cm ²)
1	A	126,0	20674,9	20,6	147,5	92,2	35892503,4
	B	125,8	12480,6	12,4	67,5	42,2	
2	A	411,5	39084,5	17,2	118,6	74,1	126099 372,9
	B	409,2	27322,1	12,1	60,1	37,6	
3	A	1243,9	78783,2	16,5	120,1	75,1	302 787 437,1
	B	1228,9	59253,6	12,4	80,8	50,5	
VLEBM							
18,5	-	744,81	58229,53	19,31	94,28	47,2	474 190 144,2

Tabla 3. Valores de diseño obtenidos para las vigas I

Nota: Mpp: momento del peso de la viga, Mrup: momento de ruptura, MORc: módulo de ruptura corregido, F_d : esfuerzo a flexión, F_v : esfuerzo a cortante, $E \cdot I$: rigidez a flexión. Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013)

Tabla de diseño de entrepisos y techo

La figura 4 representa gráficamente las longitudes máximas permisibles para las vigas I con alas de bambú para utilizar en entrepisos con separaciones de 40, 60 y 80 cm, comúnmente utilizados en Costa Rica. Por ejemplo, vigas sometidas a un esfuerzo de 300 kg/m^2 y separación de 40 cm entre vigas, es necesario utilizar longitudes máximas de aproximadamente 3,7 metros, en tanto que al usar una separación de 60 cm la longitud permisible de separación disminuye a 3 metros; pero si la separación se aumenta a 80 cm entre vigas, la longitud máxima disminuye a aproximadamente 2,6 m. Pero en el caso de utilizar estas vigas en techos y con una carga de 60 kg/m^2 , la longitud permisible en separaciones de 40 cm es aproximadamente de 7 m, con separaciones de 60 cm disminuye a 5,8 m, y con separaciones de 80 disminuye a 5 m.

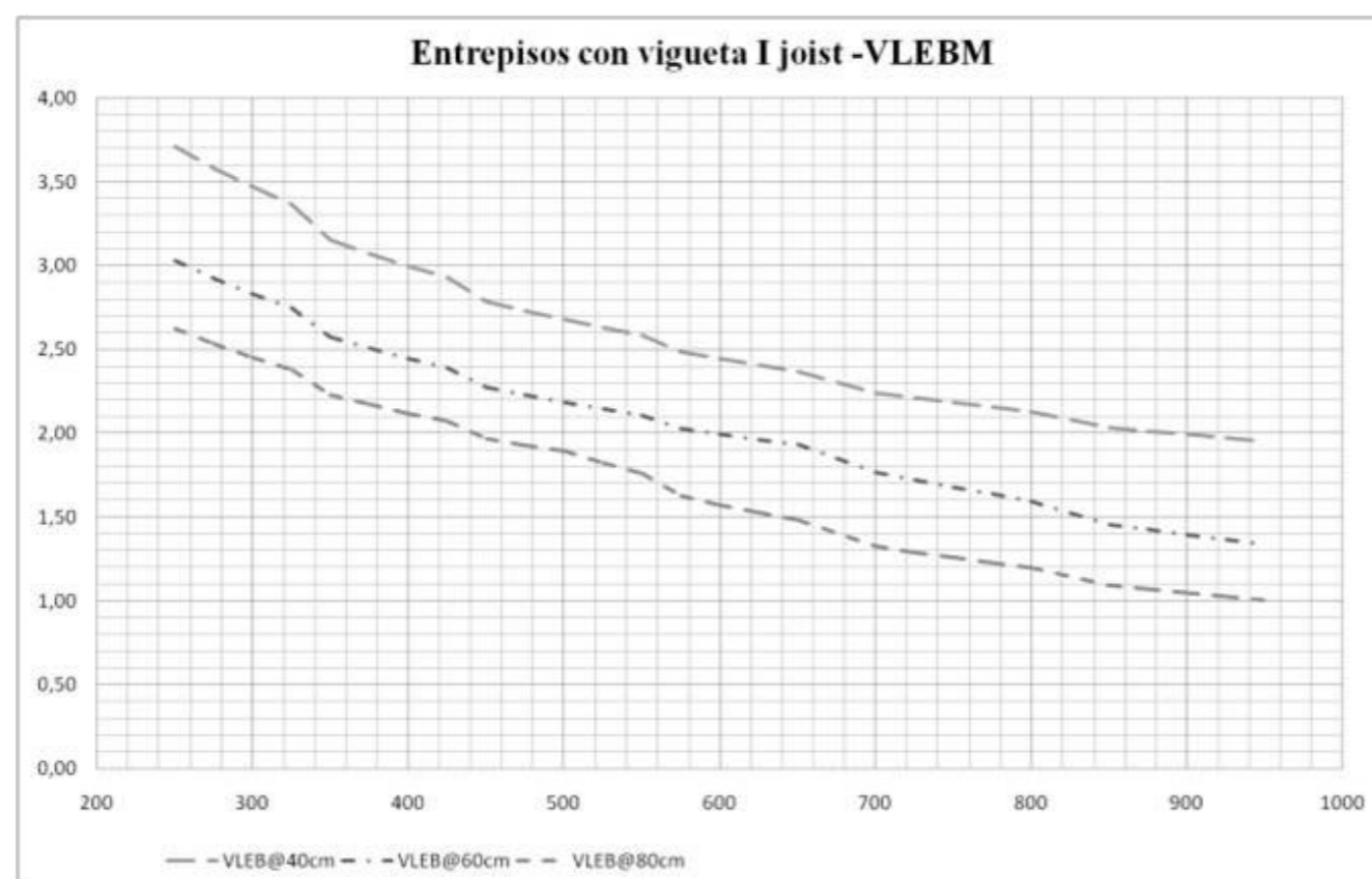
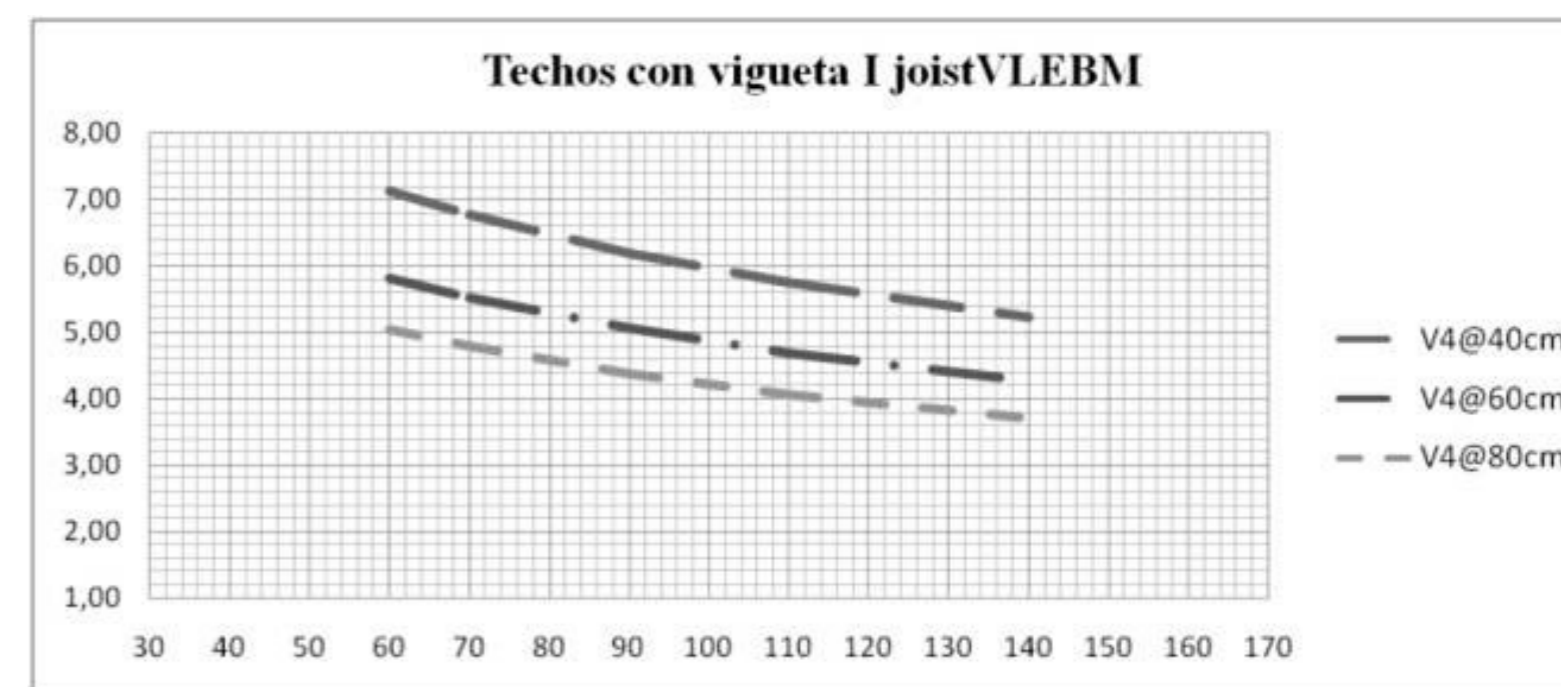


Figura 4a. Longitud permisible para vigas con alas de bambú para utilizar en pisos y en techos. a) Entrepisos con Vigueta I b) Techos con Vigueta I Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013)

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que es posible construir vigas I con bambú *Guadua angustifolia* Kunth, proveniente de plantaciones en Costa Rica y con madera contrachapada proveniente de plantaciones de rápido crecimiento de *Gmelina arborea*, con resultados que superan los valores de resistencia que cuando las alas son construidas de madera sólida de esta misma especie. Además, por el tipo de adhesivo que se utiliza, se obtiene resistencia en cortante superior a los reportados por otros estudios con la misma especie. Al establecer los esfuerzos de diseños y luego derivar la tablas de longitud permisibles para apoyar las vigas en usos de entre pisos o techo, se encontró que estas longitudes pueden variar de 2,6 m a 3,7 m en el caso de entre pisos para cargas de 300 kg/m², y de 5 a 7 metros en techos sometidos a cargas de 60 kg/cm².

Figura 4b. Fuente: Autores (Paniagua & Moya 2013)



REFERENCIAS

(ASTM), A. A. (2003). *ASTM D-198-09 Standard Test Methods Of Static Test Of Timber Structure Sizes*. PA USA

Acuña. (2002). *Control de calidad un enfoque integral y estadístico*. San José Costa Rica: Editorial Tecnológica

Aguelles, A. &. (2002). *Estructuras de Madera Diseño y Cálculo*. Madrid: 2da Edición AITIM .

AITIM. (1996). *Estructuras de madera Diseño y Cálculo*. Madrid : Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y Corcho.

Arcila. (1993). *Vigencia del Bambú como hecho constructivo - Departamento de Construcciones Arquitectónicas UPCTesis Doctoral*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

ASTM, A. s. (2003). *ASTM D-198-09 Standard Test Methods Of Static Test Of Timber Structure Sizes*. PA USA.

AYDIN I, C. S. (2004). A comparative study on some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) produced from beech (*FagusorientalisLipsky*) and eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensisDehn*) veneers. HolzRohWerkst.

Bansal, A. (2004). Manufacturing Laminates from Sympodial Bamboos-an Indian Experience. *Journal of Bamboo&Rattan (VSP International SciencePublishers)*, 3.1: pp. 13-22 .

Barreto, W. (2003). *Evaluación de la guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano*. Bogota: Investigación trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia Bogotá. Facultad de Artes. Escuela de Arquitectura y Urbanismo .

Cortés, J. (2010). Editorial de a Universidad. *Transformación y producción de la guadua laminada y prensada* . Bogota: Editorial de a Universidad Nacional Colomba.

Counsil, A. W. (2005). *National Design Specification for Wood Construction*. Leesburg VA USA.

Gere. (2009). *Mecanica de materiales*. México: 7ma Edición Cengage Learning.

López. (2009). Estudio Exploratorio de los laminados de bambú guadua angustifolia como material estructural. *Madera Ciencia y tecnología 11 (3)*, 171-182.

M, A. (2010). Engineered Bamboo I-Joists. *J. Struct. Eng.* , 136 (12), 1619-1624.

Materials, A. A. (2003). *ASTM D4442-07 Methods for direct moisture content measurement of Wood and Wood base Materials*. PA USA.

Salas, E. (2006). *Actualidad y Futuro de la arquitectura de bambú en Colombia"* UPC ESTAB Tesis de doctorado en construcción restauración y rehabilitación arquitectónica. . Barcelona España.

Tenorio, C. (2011). A comparative study on physical and mechanical properties of LVL and plywood panels made of wood from fast growing Gmelina arborea trees. *Journal of Wood Science* , 57(2): 134-139.

Wei, Y. (2011). Flexural Performance of Glued Laminated Bamboo Beams. *Advanced Materials Research* , 168-170: 1700-1703.

Xiao, Y. (2008). Development of a new type of Glulam-GluBam. . *LIn Proceedings of the Intematiortal Conference on Modern Bamboo Structures*. London: CRC Press , pp. 41-47.



VIVIANA PANIAGUA

Investigadora y Docente Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica. Graduada de Licenciada en Arquitectura en la Universidad de Costa Rica. Y tiene un Posgrado en Construcción en Madera de la Universidad Bio Bio de Chile.
viviviph@gmail.com



ROGER MOYA ROQUE

Profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería Forestal del TEC, desde 1993. Tiene una Maestría y Doctorado en Tecnología de la Madera en la Universidad de Concepción, Chile y Universidad de Sao Paulo, Brasil. Ha publicado en diversas revistas Indexadas.
rmoya@itcr.ac.cr

ESTA PUBLICACION FORMA PARTE DE:
THIS ARTICLE IS PART OF:

REVISTARQUIS

REVISTA DE LA ESCUELA DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.
VOL 1-2014. NUMERO 5. ISSN 2215-275X
