

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INTEGRACIÓN BOSQUE INDUSTRIA

INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES
PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I.”
(DOCUMENTO II)**

INVESTIGADORES:

*Ing. Roger Moya R. Ph.D.
Ing. Carolina Tenorio M. Lic.
Ing. Diego Camacho C. MBA.
Ing. Mauricio Carranza
Ing. Freddy Muñoz A. MSc.*

Octubre, 2011

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
DIRECCIÓN DE PROYECTOS**

**INFORME FINAL DE PROYECTO
(N° 5402-1401-1008)**

1. DATOS GENERALES

1. Nombre del Proyecto **“Determinación de los valores de esfuerzos estructurales para vigas de madera perfil tipo I.”**
2. Departamento académico o Centro responsable: Escuela Ingeniería Forestal / CIIBI.
3. Otros departamentos participantes: Escuela de Ingeniería en Construcción
4. Investigador(a) responsable: Ing. Roger Moya. Ph.D.
5. Investigadores participantes:

Nombre del(la) investigador(a) y grado académico	Jornada en el proyecto (hrs/sem)	Período	Nº de meses en el proyecto	Tipo de plaza*
Ing. Roger Moya Ph.D.	8	Enero-2009 Diciembre-2010	24	Docencia
	8	Enero-2011 Junio-2011	6	Docencia
Ing. Diego Camacho MBA	8	Agosto-2009 Diciembre-2010	17	Docencia
	8	Enero-2011 Junio-2011	6	Docencia
Ing. Carolina Tenorio Lic	20	Enero-2009 Diciembre-2010	24	VIE
Ing. Mauricio Carranza	4	Enero-2009 Diciembre-2010	24	VIE
	2	Enero-2011 Junio-2011	6	VIE
Ing. Freddy Muñoz Acosta MSc	8	Enero-2009 Marzo-2010	3	Docencia

6. Fecha de inicio: 1° enero 2009
7. Fecha de finalización: 30 Junio 2011
8. Sesión y fecha de aprobación de Escuela: Sesión ordinaria:

2. FUNDAMENTOS DEL PROYECTO O ANTECEDENTES

2.1. Objetivo General:

Determinar los valores de esfuerzo estructural de vigas de madera con perfil tipo I construidas a escala real con tres especies forestales de rápido crecimiento, para ser utilizadas como entre-pisos y techos.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los tableros que conforman el alma de las vigas I.
- Establecer un manual con un conjunto de normas para la caracterización de tableros que conforman el alma de las vigas I.
- Determinar los esfuerzos básicos del módulo de ruptura (MOR) y del módulo de elasticidad (MOE) en vigas con 3 alturas de peralte (h) diferentes.
- Determinar el valor de diseño estructural: F_b = Esfuerzo máximo permisible en flexión, para derivar la tabla de esfuerzos de diseño de vigas perfil tipo I en entre-pisos y techos, para obras civiles.

3. PLAN DE ACCIÓN

Objetivo	Cumplimiento	Productos	Observaciones
Determinar las propiedades físico-mecánicas de los tableros que conforman el alma de las vigas I.	100%	<p>Artículo científico que detalla las principales propiedades físico-mecánicas de los tableros de plywood y LVL de melina (Anexo 2).</p> <p>Artículo científico que detalla las propiedades físico-mecánicas de los tableros de plywood de melina, teca y acacia (Anexo 3).</p>	Los artículos científicos detallan la caracterización del alma de las vigas I, mediante el uso de tableros de LVL y de plywood (contrachapado) de cada una de las especies. La caracterización contempla aspectos de calidad, propiedades físicas y mecánicas.
Establecer un manual con un conjunto de normas para la caracterización de tableros que conforman el alma de las vigas I.	100 %	Manual en versión impresa y/o digital (Anexo 1)	En el manual propuesto se han establecido el conjunto de normas físicas, mecánicas y de calidad, utilizadas en la caracterización de los tableros que conforman el alma de las vigas I.
Determinar esfuerzos básicos de MOR y MOE a vigas con 3 alturas de peralte (h) diferentes	95%	<p>Tabla con los valores de esfuerzo obtenidos de los ensayos con 3 alturas de peralte.</p> <p>Artículo científico que muestra los esfuerzos obtenidos para cada tipo de viga (Anexo 4)</p>	<p>Se determinaron los esfuerzos básicos del MOR y del MOE para cada tipo de viga, por especie y por altura o peralte.</p> <p>Se ensayaron en su totalidad 30 vigas por especie de 6 y 8 pulgadas de altura.</p> <p>Con respecto a las vigas de 4 pulgadas estas fueron únicamente fabricadas y ensayadas con madera de melina. Para el caso de teca y acacia no se fabricaron debido al alto costo de las mismas, lo que imposibilita su comercialización.</p>

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

<p>Determinar el valor de diseño estructural: F_b=esfuerzo máximo permisible en flexión</p>	<p>100%</p>	<p>Tabla de diseño con valores de esfuerzo para uso de viga en entrepiso y cubierta para techo.</p> <p>Artículo científico de muestra los valores de diseño obtenidos para tablas de entre pisos y techos para cada tipo de viga I (Anexo 4).</p> <p>Tablas de Vigas de las especies</p>	<p>Mediante la determinación de los esfuerzos básicos se determinaron una serie de valores necesarios para el desarrollo de las tablas de diseño, tanto para entre pisos como para techos.</p> <p>El Ing. Carranza fue el encargado de la construcción y desarrollo de dichas tablas.</p>
--	-------------	--	---

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

4. GESTIÓN DEL PROYECTO E INCONVENIENTES

Durante prácticamente todo el desarrollo del proyecto se presentaron problemas con la obtención de la materia prima para los tableros y vigas I, ya esta fue donada por varias empresas y en algunos casos la madera fue tomada directamente de su proceso de producción, lo que provoco serios atrasos en el desarrollo de los ensayos, de aquí que el proyecto se tuviera que ampliar por un semestre más.

Como se menciona anteriormente, para las vigas I de teca y acacia fue necesario buscar la madera para su construcción ya que la empresa no trabaja con dichas especies. Por este mismo motivo y porque la madera de teca es sumamente cara y las empresas no tienden a regalarla fácilmente, fue que se tomó la decisión de eliminar la construcción de las vigas de 4 pulgadas en estas dos especies. Además por este inconveniente, las vigas de teca y acacia de 6 y 10 pulgadas, se construyeron con madera de melina en el alma.

5. APOORTE DE INFRAESTRUCTURA: DOCENCIA DEL CENTRO O LA ESCUELA

1. Mantenimiento y reparación del vehículo FORD placa # 265-107, utilizado durante el desarrollo del proyecto, así mismo como el combustible para otros vehículos.
2. Aditamentos para ensayar vigas o elementos estructurales con longitudes superiores a 5 metros. Anteriormente no se podían realizar este tipo de ensayos, debido a que no se contaba con los aditamentos adecuados.

6. DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

Fueron generados diferentes artículos científicos para ser publicados en revistas indexadas y un manual para la construcción de las vigas I, los cuales a continuación se detallan:

6.1. Artículos científicos:

- Tenorio, C; Moya, R; Muñoz, F. 2011. Propiedades físico y mecánicas de tableros de plywood y LVL contruidos con *Gmelina arborea* de plantaciones de rápido crecimiento. Journal of Wood Science 57: 134-139 (Anexo 2).
- Tenorio, C; Moya, R; Camacho, D. 2011. Propiedades físico-mecánicas de tableros terciados contruidos con especies tropicales de plantaciones para utilizar en vigas I. (Sometido a la Revista CERNE-Brasil) (Anexo 3).
- Tenorio, C; Moya, R; Camacho, D. 2012. Valores de diseño de vigas perfil tipo I con tableros contrachapados de madera de *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* (Sometido a la revista Maderas Ciencia y Tecnología - Chile) (Anexo 4)

6.2. Manual

- Tenorio, C; Moya, R; 2011. MANUAL DE NORMAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS TABLEROS QUE CONFORMAN EL ALMA DE LAS VIGAS I. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica (Anexo 1).

6.3. Divulgación externa nacional

- Poster: XIII Congreso Agronómico y Forestal Costarricense (CONAGROF), 4,5 y 6 de agosto de 2010.
- Poster: Exposición de Ciencia y Tecnología llevado a cabo en el Estadio Nacional los días 4, 5 y 6 de agosto de 2011.

6.4. Divulgación externa internacional

- Nombre de la actividad: Congreso Iberoamericano da madeira na Construcao (CIMAD 11), 6-8 de junio de 2011. Ciudad de Coimbra-Portugal. Nombre de la ponencia: Vigas tipo I construidas con maderas de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica para la construcción civil

- Nombre del poster: Propiedades físicas y mecánicas de tableros de plywood contruidos con especies tropicales de plantaciones para utilizar en vigas I. Congreso Iberoamericano da madeira na Construcao (CIMAD 11), 6-8 de junio de 2011. Ciudad de Coimbra-Portugal.

6.5. Tesis llevadas a cabo

No fueron llevadas a cabo tesis.

7. AGRADECIMIENTOS

Los investigadores de este proyecto dan las gracias a las siguientes personas, organizaciones y empresas: a los funcionarios del Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI) por su trabajo en la ejecución de los ensayos, a la Unidad de transportes del ITCR. A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el financiamiento del proyecto. A la empresa Maderas Cultivadas de Costa Rica S.A. por la construcción de los tableros y de las vigas I utilizadas en el proyecto. A las empresas, ECODIRECTA S.A., Aserradero Abancari, Precious Woods y BARCA, por la donación de la madera de teca y acacia utilizada en la construcción de los tableros y de las vigas I.

8. ANEXOS

ANEXO 1: Manual de normas para la caracterización de los tableros que conforman el alma de las vigas I.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

*VICERRECTORIA DE INVESTIGACION Y EXTENSION
DIRECCION DE PROYECTOS*

*ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL
CENTRO DE INVESTIGACION EN INTEGRACION BOSQUE INDUSTRIA (CIIBI)*

MANUAL DE NORMAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS TABLEROS QUE CONFORMAN EL ALMA DE LAS VIGAS I

Proyecto de investigación

“Determinación de los valores de esfuerzos estructurales para vigas de madera perfil tipo I.”

Elaboración: Ing. Carolina Tenorio. Lic.

Ing. Roger Moya. Ph.D.

Ing. Freddy Muñoz. M.Sc.

Cartago, 2011.

I PARTE

OBJETIVO: establecer especificaciones de calidad para tableros laminados tipo LVL y contrachapado (plywood). Basado en Norma técnica Colombiana para madera contrachapada de uso interior y ASTM D-1037: Evaluating properties of wood-base fiber and particle panel material.

PROCEDIMIENTO:

Los puntos de medición para cada una de las actividades se tomarán de acuerdo con la figura siguiente.

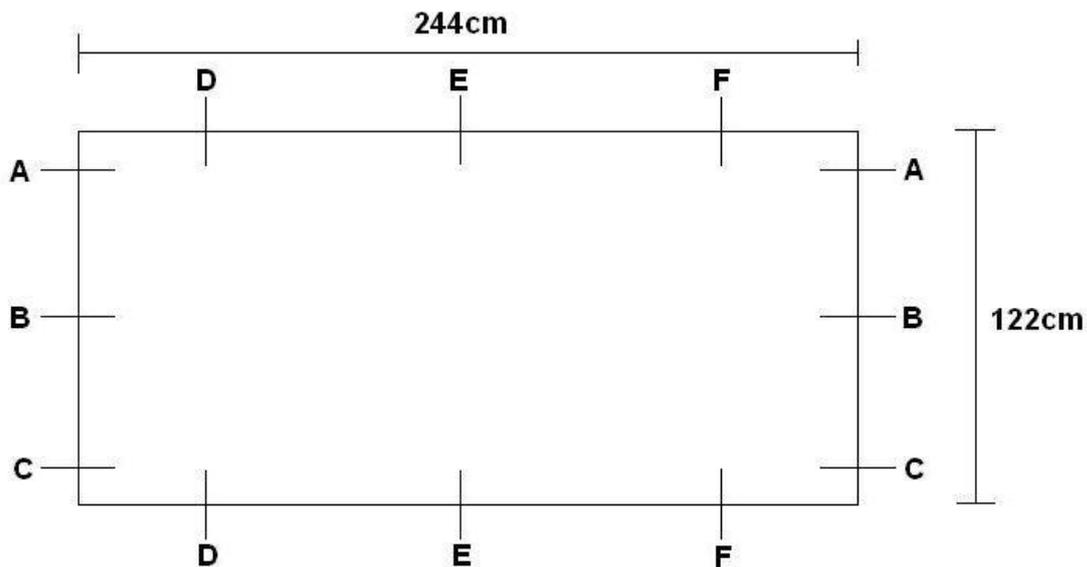


Figura 1. Puntos de medición longitudinal y transversal para la caracterización de los tableros laminados de (244 x 122) cm.

Tamaño del tablero: 6 mediciones al tablero (3 mediciones en sentido longitudinal y 3 mediciones en sentido transversal), las mediciones serán en los extremos y al centro del tablero.

Espesor del tablero: 12 mediciones al tablero (6 mediciones en sentido longitudinal y 6 mediciones en sentido transversal), las mediciones serán en los extremos y al centro del tablero.

Técnica de ultrasonido: 6 mediciones al tablero (3 mediciones en sentido longitudinal y 3 mediciones en sentido transversal), las mediciones serán en los extremos y al centro del tablero.

Modulo de elasticidad dinámico ($MOE_{dinámico}$) para cada tipo de tablero laminado:

El $MOE_{dinámico}$ se calcula utilizando la siguiente relación matemática:

$$MOE_d = V^2 * D * 10^{-6}$$

Donde:

MOE_d = modulo de elasticidad dinámico (MPa)

V= velocidad de propagación de onda (m/s)

D= densidad del tablero (kg/m^3)

Para obtener V, se utilizan los 6 tiempos (3 al ancho y 3 a lo largo) que se determinaron en la técnica del ultrasonido, c/u de esos tiempos representa el tiempo que tardo la onda de propagación en recorrer la distancia respectiva en el punto de medición. Por lo tanto, se transforman esos μs que se midieron con el equipo de ultrasonido SYLVATEST a segundos ($10^6 \mu s = 1 s$) y se multiplican por la distancia (en m) respectiva en el punto de medición (AA, BB, CC, DD, EE, FF).

Para obtener D, se determina el peso (pesar en balanza) y el volumen (espesor*ancho*largo) de todas las probetas, se calcula $D = \text{peso}/\text{volumen}$ y se promedia el valor de D.

Escuadría del tablero: medir ambas diagonales del tablero. Los tableros deben tener sus lados a escuadra dentro de una tolerancia de ± 3 mm entre sus diagonales.

Nudos: Contar y medir el diámetro de los nudos que aparecen en cada cara del tablero.

Acabado: El tablero contrachapado debe de estar libre de ampollas y otros defectos no permitidos. Puede estar pulido o no en una o en sus dos caras. Las chapas deben ir bien juntas, bien cortadas y de un grueso uniforme.

Pegamento: Los pegamentos ya sean sintéticos o cualquier otro tipo deben ofrecer resistencia al ataque de hongos e insectos y resistir la prueba de delaminación.

Delaminaciones: observar en los cantos si hay aberturas ó separaciones entre chapas, contarlas y cuantificarlas.

Especificaciones: Dimensiones nominales y tolerancias.

TABLA 1. DIMENSIONES NOMINALES Y SUS TOLERANCIAS

Dimensión nominal mm	Tolerancia mm
Ancho	910, 1220 \pm 1,5
Largo	2140, 2440 \pm 2
Espesor	4,6,9,12,15,18 y 22 \pm 3%
NOTA: Para tableros sin pulir se debe dar una tolerancia de \pm 0,08 mm del espesor especificado.	

Evaluación: evaluar los tableros por cara de acuerdo con los cuadros siguientes.

Grados de vista o cara:

GRADO DE LA CARA	ESPECIFICACIONES
Grado A	<p>Debe ser firme, libre de nudos, huecos de nudo, rajaduras y otros defectos abiertos.</p> <p>Las piezas deben de estar bien unidas entre sí</p> <p>Se permiten manchas de resina que en total no excedan del 5% del área del tablero y que combinen con el color de la madera.</p> <p>No se permiten rellenos sintéticos.</p>
Grado B	<p>Debe ser sólida y libre de defectos abiertos.</p> <p>Se permite un pulido inferior y parchado incluyendo zonas mal pulidas que no excedan el 5% del área del tablero.</p> <p>Se permiten decoloraciones y manchas de resina que no excedan al 15% del área del tablero.</p> <p>Se permiten rellenos sintéticos para sanear rajaduras o aberturas no mayores de 3 mm de ancho por 100 mm de largo o el área equivalente.</p> <p>Se permiten nudos sólidos y firmes no mayores de 25 mm de diámetro medidos a través de la fibra, en nudos ovalados no más de 25 mm medidos a través de la fibra y 100 mm a lo largo.</p> <p>Se permiten reparaciones con parches correctamente hechos de los tipos: "barco", "oblongo", tipo parche con extremos redondos, "avión" y oblongo con borde recortados o cualquier otro tipo de parche que para este fin sea conveniente. Deben ser de la misma madera de la chapa y no más de 3 parches por cara.</p>

GRADO DE LA CARA	ESPECIFICACIONES
Grado C	<p>Se permiten defectos de pulido que no afecten la resistencia o servicio del tablero.</p> <p>Se permiten nudos firmes no mayores de 40 mm. de diámetro medidos a través de la fibra, en nudos ovalados se permite 75 mm a través de la fibra y 150 mm a lo largo de la fibra.</p> <p>Se permiten decoloraciones y manchas de resina en un 25% del área.</p> <p>Se permiten huecos de nudos no mayores de 10 mm medidos a través de la fibra.</p> <p>Se permiten rajaduras y depresiones que terminen en Punta admitiéndose los siguientes anchos máximo: 5 mm para la mitad del tablero 3 mm para cualquier longitud del tablero siempre y cuando termine con no más de 1,0 mm de ancho, 1 mm cuando están localizados a 25 mm del lado del tablero paralelo a la fibra.</p> <p>Se permiten huecos de insecto no mayores de 3 mm de diámetro.</p> <p>Se permiten parches del mismo tipo que en el caso de Chapa tipo "B", con las mismas condiciones y sin límite de número.</p>
Grado D	<p>Se permite cualquier tipo y número de parches, huecos de insecto y defectos de pulido.</p> <p>Se permiten nudos firmes y huecos de nudo ocasionales que no excedan 50 mm de diámetro.</p> <p>Se permiten decoloraciones y manchas de resina.</p> <p>Se permiten rajaduras y depresiones que terminen en punta, admitiéndose los siguientes anchos como máximo: 25 mm para la mitad de la longitud del tablero, 12 mm para cualquier longitud del tablero y 5 mm cuando se encuentra localizado dentro de 25 mm del tablero paralelo a la fibra.</p>

GRADO FABRICACION	ESPECIFICACIONES
Grado 1	Debe de estar libre de cualquier defecto de fabricación como: falta de alma, delaminación, etc.
Grado 2	<p>Se permite falta de alma en la siguiente forma:</p> <p>a) Cuando se encuentra en las chapas contiguas a la cara y trascara máximo 3 mm de ancho y no más de una abertura por chapa.</p> <p>Cuando sean muy superficiales (5 mm de profundidad máximo); se permiten hasta 3 aberturas por chapa.</p> <p>b) En chapas interiores se permite hasta un máximo de 7 mm de ancho y no más de 5 aberturas por canto. El total de aberturas en cualquier de los cantos no debe ser mayor de 7.</p>
Grado 3	<p>En este grado de fabricación se permite falta de alma en la siguiente forma:</p> <p>a) Cuando se encuentra en las chapas contiguas a la cara y trascara, se permite un máximo de 7 mm de ancho y no más de 2 por chapa.</p> <p>b) En chapas interiores se permiten aberturas de hasta 15 mm y más de 5 %. El total de aberturas en cualquiera de los cantos no debe ser mayor de 9.</p>
Grado 4	Este tablero es aquel cuya fabricación o enchapado ha sido defectuoso por lo cual cuenta con falta de alma en grandes proporciones, así como delaminaciones, todo esto limitando el uso y el rendimiento de la lámina.

En la espalda o trascara de cada tablero deber llevar marcado en forma clara: marca del fabricante y otros datos del fabricante, dimensiones del tablero, tipo de chapa en cara y trascara, grado de fabricación del tablero, tipo de tablero (uso interior o exterior).

II PARTE:

OBJETIVO: Determinar algunas propiedades físicas de tableros laminados tipo LVL y PLYWOOD, bajo especificaciones establecidas en la norma ASTM (American Standard of Testing and Materials).

MUESTREO:

Cada uno de los 6 tableros (3 LVL y 3 PLYWOOD), fue muestreado de forma aleatoria, considerando cantidad y tamaño de las probetas para el caso de las propiedades físicas, para el caso de las propiedades mecánicas cantidad, tamaño y dirección. El muestreo se realizó acorde a la norma EN 326-1

La distribución de las muestras en cada uno de los tableros se realizó de acuerdo a la siguiente figura.



Figura 2. Distribución de las muestras en los tableros laminados de (244 x 122) cm.

Obtenidas cada una de las probetas se procedió a su identificación de acuerdo a la siguiente codificación genérica:

Tipo de tablero / # de tablero / Tipo de ensayo / # probeta

Ejemplo: **P1 VE 1**
L1 VE 1

Donde:
P= tipo tablero plywood
L= tipo tablero LVL
1= # tablero
VE= ensayo variación de espesor
1= probeta # 1

EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:

Una vez identificadas las probetas se procedió a ejecutar cada uno de los ensayos siguiendo lo considerado en la norma para cada ensayo específico (Cuadro 1)

Cuadro 1. Tipo de ensayo, norma a seguir, tamaño de probeta y cantidad de probetas.

Tipo de ensayo	Simbología en probeta	Norma ASTM	Tamaño de probeta (pulg)	Cantidad de probetas por ensayo (unid)
Variación del espesor	VE	D-1037	6x6	12
Peso específico ¹	PE	D-2395	2x2	12
Contenido de humedad ²	CH	D-4442	2x2	12
Absorción e hinchamiento	AH	D-1037	6x6	12
Delaminación	DE	D-2559	2x2	18
Flexión 1 carga	F y F \perp	D-3043	2x28 (paralelo long) 2x16 (perpendicular long)	6 6
Tensión paralela plywood y LVL ³	T	D-3500	1x16	6
Tensión perpendicular plywood y LVL	T \perp	D-1037	2x2	6
Compresión paralela plywood y LVL ⁴	C	D-3501	7.5x15	6
Cortante en línea cola plywood y LVL (Fig. 16) ⁵	CLC	D-1037	2x2	6

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Cortante en línea de cola plywood y LVL (Fig. 17) ⁵	CM	D-1037	2x2	6
Dureza ⁶ plywood y LVL	DU	D-1037	3x6	6
Clavos lateral (distancia ¼" y ¾") ⁷	CL	D-1037	3x6	6
Clavos y tornillo por cara	CTC	D-1037	3x6 (paralelo long) 3x6 (perpendicular long)	6 6

¹ métodos A y B

² método B

³ método A

⁴ método B

⁵ se debe tener un espesor de 2" con el mismo material hacer pegas

⁶ se debe tener el doble de muestras para 1" de espesor (ítem 69.1 D-1037)

⁷ ensayos en sentido longitudinal y transversal

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS:

Ensayos Físicos:

1. Variación de espesor "*variation in thickness*" (ASTM D-1037) sección 8 p: 3.

Para la determinación de la variación del espesor, se deben tener probetas de 6" x 6" (sección cuadrada), el espesor de cada probeta deberá ser medido en 5 puntos, 1 medición en c/u de las esquinas y otra lo más cerca del centro. Anotar todas las mediciones indicando el lugar de medición, posteriormente anotar el promedio de espesor y de variación de espesor por lámina y por tipo. Estas mediciones deberán ser hechas con una precisión de no menos del $\pm 0.3\%$, cuando sea posible.

2. Peso específico "*specific gravity*" (ASTM D-2395) método A sección 6 y método B sección 9 p: 3-6.

- Método A (volumen por medición "*volume by measurement*") secciones 6, 7, 7.1, 7.2, 7.3, 8.1, 8.2, 8.2.1, 8.2.2.

Las probetas deben ser uniformes para poder determinar el volumen por medición lineal. Este procedimiento es adaptable a cualquier forma o contenido de humedad de las probetas, solo se debe tener cuidado al tomar las mediciones en probetas pequeñas y muy delgadas.

Procedimiento:

Mediciones: Medir el largo, ancho y espesor de c/u de las probetas en un número suficiente de lugares para asegurarse una indicación precisa del volumen. La precisión de las mediciones debe ser de $\pm 0.3\%$ o menos.

Peso: Determine el peso de c/u de las probetas en el momento de las mediciones y después de colocar las probetas en el horno por 24hr manteniéndolo a $103\pm 2^\circ\text{C}$. La precisión de las mediciones debe ser de $\pm 0.2\%$ o menos.

INFORME FINAL DE PROYECTO

"DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I"

Contenido de humedad: determinar el contenido de humedad de c/u de las probetas para poder calcular el peso específico. (El contenido de humedad se puede calcular de acuerdo con la norma D 4442 abajo mencionada)

Cálculos:

Contenido de humedad:

$$CH\% = \frac{A-B}{B} \times 100$$

Donde:

A: peso inicial en gramos

B: peso final (al horno) en gramos

Peso específico

$$Spgr = \frac{KW}{[1 + (M / 100)] Lwt}$$

Donde:

W = peso de la probeta (inicial)

M = contenido de humedad, %

L = largo de la probeta

w = ancho de la probeta

t = espesor de la probeta

K = constante, para este caso:

K = 1, cuando el peso es un g (gramos) y el volumen es en cm³

- Método B (volumen por inmersión en agua “*volume by water immersion*”) Modelo II secciones 9, 10.1, 10.2, 10.2.2 y 11.

Este procedimiento es particularmente adaptable a probetas con forma irregular o con superficies rugosas.

Procedimiento:

Peso: determine el peso inicial de c/u de las probetas. La precisión de las mediciones debe ser de ± 0.2% o menos.

Volumen: determine el volumen de la probeta por medición del volumen de agua desplazado o por el peso del agua desplazado. El peso en gramos es numéricamente igual al volumen en centímetros cúbicos.

Método II: coloque un recipiente con agua suficiente para sumergir completamente la probeta, en el plato de la balanza, calibre la balanza, una vez calibrada, mantenga la probeta completamente sumergida en el recipiente sin que esta toque ningún lado del recipiente, el peso (g) marcado por la balanza correspondería al volumen (cm³) de la probeta.

Cálculos:

Peso específico

$$Spgr = \frac{KW}{V}$$

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Donde:

W = peso de la probeta (inicial)

V = volumen de la probeta

K = constante, para este caso:

K = 1, cuando el peso es un g (gramos) y el volumen es en cm³

3. Contenido de humedad “direct moisture content measurement”. (ASTM D-4442). Método B Oven drying (secondary). Sección 6 p: 3.

El contenido de humedad es una de las variables más importantes que afectan las propiedades de la madera y de los materiales a base de madera.

- Método B (Oven drying (secondary) sección 6.

Determine el peso de las probetas en condición verde o inicial, posteriormente coloque las probetas en un horno o estufa a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas o bien asuma que el punto final llega cuando no es notable un cambio apreciable durante las lecturas realizadas a las probetas durante intervalos de 4 horas.

Las probetas se deben de pesar lo más pronto posible para evitar que absorban humedad.

Cálculos:

Contenido de humedad

$$CH\% = \frac{A - B}{B} \times 100$$

Donde:

A: peso inicial en gramos

B: peso final (al horno) en gramos

4. Absorción e hinchamiento “water absorption and thickness swelling” (ASTM D-1037). Sección 100-107 Método B p: 17-18.

Para el método B la absorción de agua e hinchamiento del espesor son expresados como un porcentaje para cada probeta después de una inmersión simple continua en agua durante 24 h.

- Método B (single continuous 24 – h submersion period).

Para este método solo dos mediciones son requeridas, una inicial y una después de 24 horas de inmersión.

Antes de colocar las probetas en inmersión, determine el peso inicial y el espesor inicial de c/u de ellas. Colóquelas en inmersión durante 24 horas, una vez transcurrido el tiempo sáquelas y elimine el exceso de humedad con una toalla de papel y determine el peso y el espesor final.

Calcule el porcentaje de absorción e hinchamiento con las formulas siguientes:

Absorción:

$$Absorción\% = \frac{Peso_{final} - Peso_{inicial}}{Peso_{final}} \times 100$$

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Hinchamiento: para el cálculo del hinchamiento se utilizan los espesores iniciales medidos en el ensayo de variación de espesor, solo determine el promedio.

$$\text{Hinchamiento}\% = \frac{\text{Promedio}_{\text{espesor final}} - \text{Promedio}_{\text{espesor inicial}}}{\text{Promedio}_{\text{espesor final}}} \times 100$$

5. Estabilidad dimensional “linear variation with change in moisture content” (ASTM D-1037). Sección 108-111 p: 18-19.

Los ensayos de variación lineal con cambios en el contenido de humedad son hechos para medir la estabilidad dimensional de los tableros.

Procedimiento:

Acondicione a equilibrio práctico (el equilibrio práctico es definido como el estado tiempo – cambio en el cual el peso de las probetas para propósitos prácticos no gana ni pierde contenido de humedad más del 0,05% del peso durante un periodo de 24 horas), las probetas cuidadosamente cortadas a una humedad relativa de $50 \pm 2\%$ y a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Mida las dimensiones (ancho y largo) de cada probeta con un calibrador o con una regla milimétrica con una precisión de 0,5mm. Marque en cada probeta los puntos donde realiza la medición, de forma que para la siguiente medición utilice los mismos puntos de referencia.

Luego acondicione las probetas a equilibrio práctico a una humedad relativa de $90 \pm 5\%$ y a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ y vuelva a medir las dimensiones de las probetas.

Reporte la estabilidad dimensional como un cambio porcentual en las dimensiones tomando como base los datos a 50% de humedad relativa.

6. Delaminación. Ensayos de intemperismo acelerado

Estos ensayos se realizan para determinar la resistencia que opone el tablero a las deformaciones y delaminaciones en condiciones adversas.

Se trabaja con tres métodos. Para c/u de los métodos se le realizó una grada a c/u de las probetas siguiendo la línea de cola central para posteriormente medir el ancho, alto y espesor. (ver figura 3)

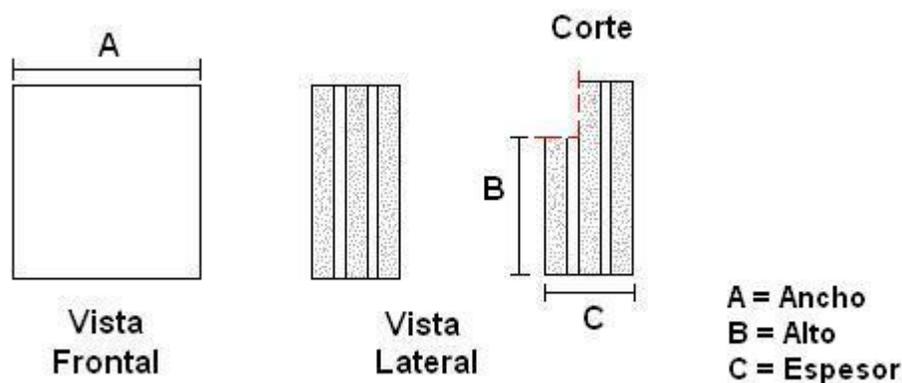


Figura 3. Patrón de corte para el ensayo por cortante.

- Método A (sin tratamiento)

En este caso se toman las probetas y se ensayan por cortante en la maquina de tensión sin realizarle ningún tipo de tratamiento, se determina la carga máxima y el esfuerzo máximo.

- Método B “boiling water delamination test” (JAS 1993)

Procedimiento:

1. Sumerja las probetas en agua hirviendo durante 5 horas
2. Posteriormente sumérgalas en agua fría por 1 hora
3. Seguidamente coloque las probetas en un horno a una temperatura de 60°C durante 24 horas
4. Las probetas se ensayan por cortante en la maquina de tensión y se determina la carga máxima y el esfuerzo máximo.

- Método C (Ensayo de vacío – presión)

Procedimiento:

1. En un tanque de presión se colocan las probetas de modo que queden libremente expuestas y separadas entre si, colóqueles una pesa encima de forma tal que estas no tiendan a flotar cuando se les introduzca el agua, aplíqueles un vacío de 85 Kpa (635mm Hg) por 30 minutos, seguido después por un periodo de presión de 450 a 480 Kpa por 30 minutos
2. Se colocan en un horno a una temperatura de 100°C por 15 horas
3. Una vez que las probetas se hayan secado se ensayan por cortante en la maquina de tensión y se determina la carga máxima y el esfuerzo máximo.

Ensayos mecánicos:

1. Flexión 1 carga Método A “center – point flexure test” (ASTM D-3043). Sección 5 p: 2-4.

Estos ensayos determinan las propiedades de flexión, principalmente fuerza y dureza, para paneles estructurales. Estas propiedades son de primera importancia para la mayoría de los usos estructurales de los paneles.

La maquina de ensayos de compresión convencional es usada para aplicar y medir la carga en el punto medio de la luz de las probetas, y de la deflexión resultante en este punto es medida y anotada.

Probetas:

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Para este ensayo se utilizan dos tipos de probetas señaladas en el cuadro 1, esto debido a que deben de cumplir los siguientes requerimientos: ancho de 25mm para laminas con espesor menor de 6mm y 50mm para materiales con espesor mayor de 6mm y una longitud que depende de la longitud de la fibra de la cara con respecto a la longitud de la probeta y esta dada por: a) Cuando la dirección del grano de la cara es paralela a la longitud de la probeta, esta no debe de ser menor que 48 veces el espesor mas 50mm. b) Cuando la dirección del grano de la cara es perpendicular a la longitud de la probeta, la longitud de esta no debe ser menor que 24 veces el espesor, mas 50mm. c) Luz de la probeta: depende de la dirección de la fibra de la cara con respecto a la longitud de la probeta y esta dada por: en la dirección paralela la luz debe ser 48 veces el espesor, en la dirección perpendicular, la luz debe ser 24 veces el espesor.

Mediciones:

Mida el espesor de las probetas en el punto medio de la luz cerca de cada orilla y anote el promedio, mida además el peso y el ancho de cada probeta.

Procedimiento:

1. Coloque la probeta sobre los apoyos del accesorio, de tal forma que la carga sea aplicada mediante la cabeza móvil en el punto medio de la luz.
2. La probeta debe estar soportada de tal manera que en sus apoyos no se produzcan aplastamientos, roces, ni otros esfuerzos ajenos a la flexión, por lo que se recomienda el uso de apoyos con placas.
3. Aplique la carga en forma continua durante el ensayo. La velocidad debe ser tal que la tasa máxima de deformación de la fibra sea igual a 0,0015mm/min, con una variación permisible de $\pm 25\%$ (en este caso se utilizo una velocidad de 1mm/min).
4. La carga debe medirse con una precisión de $\pm 1\%$ del valor indicado o 0,4% de la escala.
5. Se mide el tiempo transcurrido desde la iniciación de la aplicación de la carga hasta la carga máxima, registrando valores de carga de deformación cada 30 seg. (registrador grafico incorporado)

Determine la carga al limite proporcional, la deflexión a limite proporcional, la carga máxima, el modulo de elasticidad y el modulo de ruptura.

Se debe además registrar el contenido de humedad de cada probeta.

Cálculos:

Esfuerzo al límite proporcional:

$$S_{lpf} = \frac{3P_{flp} \times L}{2bd^2}$$

en donde:

S_{lpf} = esfuerzo a la flexión en el limite proporcional, kg/cm²

P_{flp} = carga a la flexión en el limite proporcional, kg

L = luz de la probeta, cm

b = ancho de la probeta, cm

d = profundidad o espesor de la probeta, cm

Modulo de ruptura:

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

$$S_{rf} = \frac{3P_{rf} \times L}{2b \times d^2}$$

en donde:

S_{rf} = esfuerzo o modulo de rotura al a flexión, kg/cm²

P_{rf} = carga de rotura a la flexión, kg

L = luz de la probeta, cm

b = ancho de la probeta, cm

d = profundidad o espesor de la probeta, cm

Modulo de elasticidad:

$$E_f = \frac{P_{flp} \times L^3}{4ebd^3}$$

en donde:

E_f = modulo de elasticidad en flexión, kg/cm²

P_{flp} = carga a la flexión en el limite proporcional, kg

L = luz de la probeta, cm

b = ancho de la probeta, cm

d = profundidad o espesor de la probeta, cm

e = deflexión en el limite proporcional, cm

2. Tensión paralela plywood y LVL, Método A “tensile properties of small specimens” (ASTM D-3500). Sección 6-8 p: 2-3.

Este método determina las propiedades de tensión en paneles estructurales como respuesta de la fuerza aplicada en un plano.

Probetas:

Cuando la evaluación de las propiedades elásticas así como la fuerza final de tensión son requeridas, la forma y tamaño de las probetas debe ser seleccionada con base en la construcción (ángulo del grano) y el espesor del material. Para paneles estructurales y plywood si el grano de la lámina individual forma un ángulo de 0 o 90° con la longitud de la probeta, deberá usarse la probeta tipo A para materiales con más de ¼” (6mm) en espesor y la probeta tipo B para materiales con ¼” o menos en espesor. Para plywood con otro ángulo que no sea 0 o 90° entre la longitud de la probeta y la orientación del grano deberá usarse la probeta tipo C sin importar el espesor del material. (Ver figura 4) El espesor, ancho y el peso de cada probeta en la sección crítica deberán ser medidos con una precisión de 0,02mm.

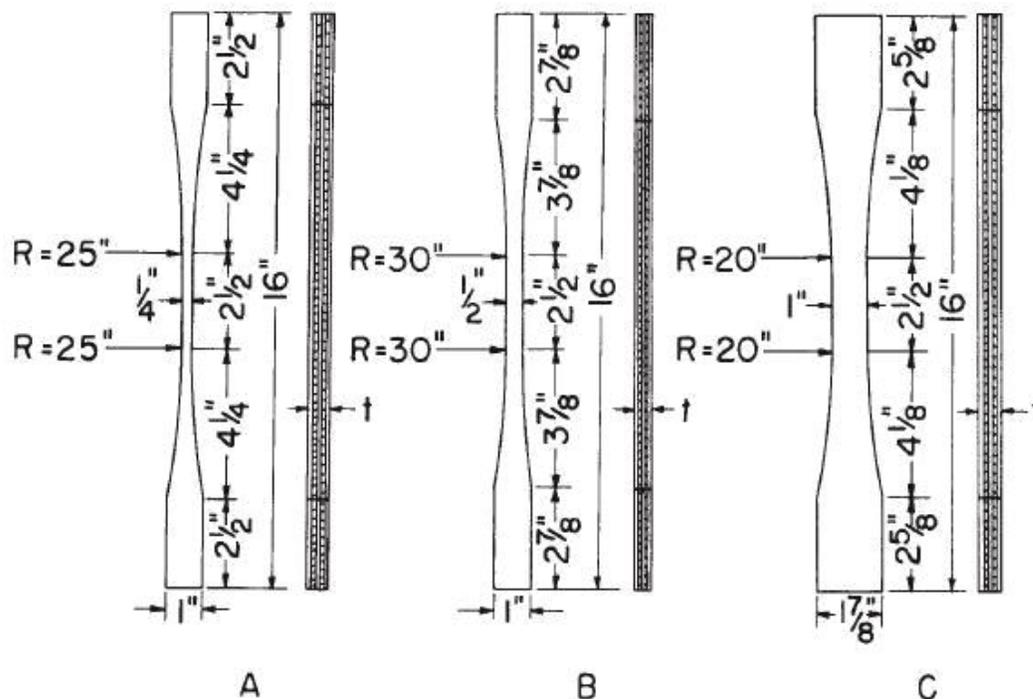


Figura 4. Dimensiones y detalles de las probetas para los ensayos de tensión.

Procedimiento:

1. Sujete la probeta por medio de las mordazas acopladas a las cabezas, coloque el extensímetro en la sección transversal reducida de la probeta.
2. Instaladas las probetas y el extensímetro, se aplica a la cabeza móvil, una velocidad constante de 0,9mm/min. Hasta que la probeta falle, lo que normalmente ocurre entre los 3 - 10 minutos después de iniciado el ensayo. Se mide el tiempo transcurrido desde la iniciación de la aplicación de la carga hasta la rotura, registrando las lecturas de carga y deformación correspondiente cada 30 segundos.
3. En el caso de que la maquina tenga acoplado un registrador automático la curva se dibuja simultáneamente.

Determine además el módulo de elasticidad, esfuerzo máximo, esfuerzo al límite proporcional, carga máxima, deflexión al límite proporcional, carga al límite proporcional y el contenido de humedad.

Cálculos:

Esfuerzo al límite proporcional:

$$S_{TLP} = \frac{P_{TLP}}{A}$$

en donde:

S_{TLP} = resistencia a la tensión en el límite proporcional, kg/cm²

P_{TLP} = carga al límite proporcional, kg

A = área de la sección mínima de la probeta, cm²

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE
MADERA PERFIL TIPO I”

Esfuerzo de ruptura:

$$S_{TR} = \frac{P_m}{A}$$

en donde:

S_{TR} = resistencia máxima o esfuerzo de ruptura a la tensión, kg/cm²

P_m = carga máxima o carga de ruptura, kg

A = área de la sección mínima de la probeta, cm²

Modulo de elasticidad en tensión:

$$E_t = \frac{P_{TLP} \times L}{A \times d}$$

en donde:

E_T = modulo de elasticidad en tensión, kg/cm²

P_{TLP} = carga al limite proporcional, kg

A = área de la sección mínima de la probeta, cm²

L = distancia entre las abrazaderas del extensómetro, cm

d = deformación en el limite proporcional, cm

3. Tensión perpendicular plywood y LVL “tensile strength perpendicular to surface” (ASTM D-1037). Sección 28-33 p: 6-7.

El ensayo para fuerzas de tensión perpendiculares a la superficie debe ser hecho con probetas en condición seca para determinar la cohesión en las fibras del tablero en dirección perpendicular al plano del tablero.

Probetas:

Se utilizan probetas cuadradas de 2” (50mm). Para este ensayo según la norma se requiere de bloques que se acoplan a la maquina de ensayos para aplicar la fuerza, fabricados con una mezcla de aluminio o hierro, con dimensiones de 2” (cuadrado) con 1” de espesor, sin embargo, para este caso se fabricaron los bloques en madera y con dimensiones de 6mm en ancho y largo y con 1 ½” de espesor, tal y como se muestra en la figura 5. Los bloques son unidos a la probeta utilizando un adhesivo lo suficientemente fuerte como para que no se separen las probetas de los bloques al aplicar la fuerza. (Ver figura 5)



Figura 5. Probeta para el ensayo de tensión perpendicular unida a las placas de madera.

Procedimiento:

Acople los bloques de madera con las probetas ya unidas, a la maquina de ensayos, fuerce las probetas separando las cabezas de la maquina de ensayos hasta que la falla ocurra. La dirección de la carga debe ser lo mas perpendicular posible a las caras de las probetas, el centro de la carga debe pasar a través del centro de la probeta.

Aplique la carga en forma continua desde el inicio del ensayo en una proporción uniforme con el movimiento de la maquina de ensayos a 0,08 in/in (cm/cm) del espesor por minuto.

Obtenga la carga máxima, el esfuerzo máximo y la línea de falla.

Determine el contenido de humedad utilizando otras muestras pero del mismo material.

**4. Compresión paralela plywood y LVL “compression test for large specimens” (ASTM D-3501).
Sección 12-17 p: 4-6.**

Cuando la fuerza de compresión actúa en el tablero, ocasiona un acortamiento o reducción del volumen del mismo. Este ensayo determina la resistencia del tablero a este tipo de fuerza.

Probetas:

Las probetas deben ser cortadas con precisión en las orillas y con ángulos rectos. La dimensión de las probetas debe ser de 7 ½” ancho y 15” longitud, medidas con una exactitud de no menos de $\pm 0,3\%$.

Procedimiento:

Aplique la carga a través de una conexión de bisagras sobre la parte superior de la maquina de ensayos de modo que solo permita desviaciones en los extremos de las probetas, y ajustes de las probetas en una sola dirección.

Aplique la carga a una velocidad continua, de tal manera que la falla ocurra dentro de los 3 a 10 minutos después de iniciada la aplicación de la carga.

La razón de velocidad es de 0,003mm por mm de longitud de la probeta por minuto, con una variación permisible de $\pm 25\%$.

Obtenga la carga máxima aplicada, el esfuerzo máximo, el modulo de elasticidad, la curva carga – deflexión y la descripción de la falla.

Determine el contenido de humedad.

INFORME FINAL DE PROYECTO

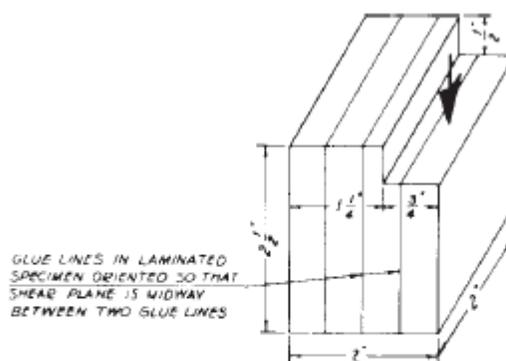
**“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE
MADERA PERFIL TIPO I”**

5. Cortante en línea de cola plywood y LVL “shear strength in the plane of the board” (ASTM D-1037). Sección 81-86 p: 13-15.

Los ensayos de fuerzas de cortante deben ser realizados con probetas laminadas de modo que la superficie de falla en cortante sea en el propio tablero y no en la línea de cola.

Probetas:

Los ensayos en cortante paralelo a la superficie de los tableros deben ser hechos con probetas de 2 por 2 pulgadas, como se muestra en la figura 6. Esto con la intención de tener en este ensayo el plano de corte paralelo a la superficie del tablero y tener la falla aproximadamente en la mitad entre los dos planos del tablero. Las probetas deben ser pegadas de forma tal que se obtenga un espesor de 2 pulgadas (figura 6).



Metric Equivalents

in.	1/2	3/4	1 1/4	2	2 1/2
mm	12.7	19	31.7	51	63.5

Figura 6. Probetas para el ensayo de cortante paralelo a la superficie.

Procedimiento:

Utilice una maquina de cortante que provea 1/8 in (3mm) entre el borde interno de la superficie de soporte y del plano, a lo largo de los cuales la falla ocurre. Aplique la carga sobre las probetas como lo muestra la flecha de la figura 6. Coloque con cuidado las probetas en la maquina de cortante de modo que la barra transversal se ajuste a los bordes verticales de la probetas. Aplique la carga en forma continua desde el inicio del ensayo.

Determine la carga máxima y el esfuerzo máximo solamente.

Registre las características y el tipo de falla.

Determine el contenido de humedad.

6. Cortante en línea de cola plywood y LVL “glue-line shear test (block type)” (ASTM D-1037). Sección 87-90 p: 15-16.

El ensayo de cortante en línea de cola ha sido usado para evaluar tableros construidos mediante uniones de cola, como lo son los tableros que se unen para obtener un mayor espesor luego de que son manufacturados.

Probetas:

Los ensayos en cortante en la línea de cola de los tableros deben ser hechos con probetas de 2 por 2 pulgadas, como se muestra en la figura 7. La probeta debe tener de 1 a 2 in (25 a 50 mm) de espesor como mínimo, dependiendo del espesor del tablero.

Se debe tener mucho cuidado al preparar las probetas para hacer las superficies de carga lisas y paralelas entre ellas y perpendiculares a la línea de cola en el plano de cortante. Además, se debe tener cuidado al reducir las longitudes de las laminaciones a $1\frac{3}{4}$ in (44mm) para asegurarse que el corte de la sierra se extienda hasta, pero no más allá de la línea de cola.

El ancho y la altura de la probeta en la línea de cola deben ser medidos con al menos una precisión de 0.01 in (0.25mm), con estas medidas se debe determinar el área de cortante.

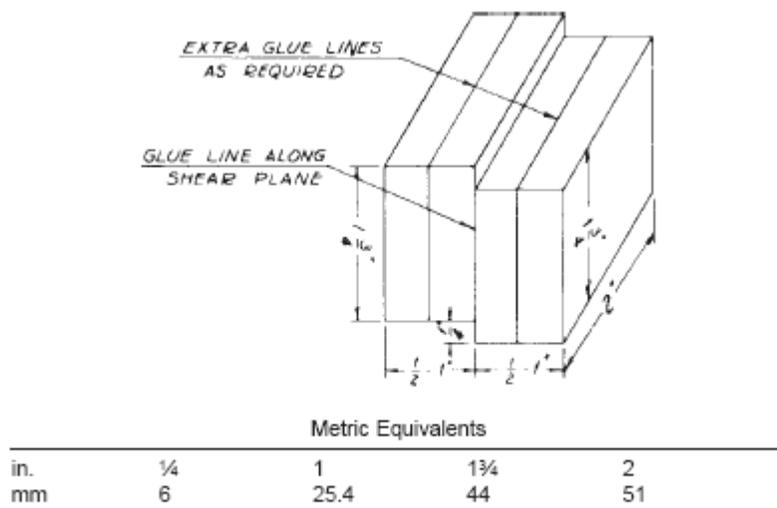


Figura 7. Probetas para el ensayo de cortante en la línea de cola.

Procedimiento:

Aplique la carga a través de una silla de alineamiento automático para asegurarse de la distribución uniforme y lateral de la carga. Aplique la carga con un movimiento continuo de la máquina de ensayos a 0.024 in (0.6mm)/min. Use la herramienta de carga y ajústela de modo que la falla ocurra a lo largo o adyacente de la línea de cola y no fuera de ella.

Determine la carga máxima y el esfuerzo máximo solamente.

Registre las características y el tipo de falla.

Determine el contenido de humedad.

7. Ensayo de dureza plywood y LVL “Hardness Test” (ASTM D-1037). Sección 68-73 p: 11-12.

Para determinar dureza se usa una modificación del ensayo del balón Janka.

Probetas:

Cada probeta debe tener 3 in (75mm) de ancho y 6 in (150mm) de longitud y por lo menos 1 in (25mm) de espesor. Esto porque la mayoría de los tableros son construidos con espesores de menos de 1 in, si este fuera el caso, las probetas para el ensayo deben ser hechas uniendo varias laminas del panel hasta obtener el espesor requerido. Para esto se utiliza algún cemento o adhesivo flexible. La probeta final debe ser recortada después de pegada de modo que los bordes queden lisos.

Procedimiento:

Use una modificación del ensayo del balón Janka, con un balón de 0.444 in (11.28mm) de diámetro para determinar dureza. Anote como medición de dureza la carga en la cual el balón ha penetrado hasta una mitad de su diámetro, determinado por un indicador de circuito eléctrico o por el estrechamiento del cuello contra la probeta. El ensamble del ensayo se muestra en la figura 8.

Haga dos penetraciones en cada una de las dos caras planas del tablero. Si existe diferencia en cuanto a textura entre las caras de los tableros anote los datos obtenidos para las dos caras en forma

separada. La localización de los puntos de penetración será de al menos 1 in (25mm) desde los bordes o extremos de las probetas y además lo suficiente para que la penetración no afecte al otro. Aplique la carga en forma continua durante todo el ensayo a una velocidad en la maquina de 0.25 in/min (6mm/min).

La carga máxima necesaria para introducir el balón hasta una mitad de su diámetro será la medida de dureza que se debe anotar.

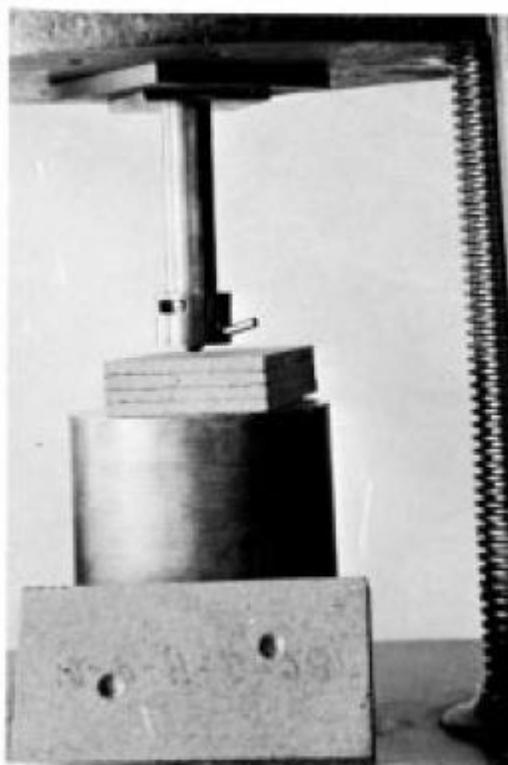


Figura 8. Aparato de Balón de Janka para ensayos de dureza en tableros de fibras.

8. Ensayo de resistencia de clavos lateral en plywood y LVL “Lateral Nail Resistance Test” (ASTM D-1037). Sección 41-46 p: 8-9.

Los ensayos de retención de clavos deben ser hechos para medir la resistencia del movimiento lateral de un clavo a través del tablero. La mitad de las probetas debe ser seleccionada y posicionada en el ensayo de modo que el movimiento del clavo sea perpendicular al largo del tablero y de este modo evaluar las propiedades direccionales.

Probetas:

Cada probeta debe tener 3 in (76mm) de ancho y una longitud conveniente, y un clavo de 0.113 in (2.80mm) de diámetro, colóquelo en ángulo recto en la cara del tablero de forma tal que la misma longitud del clavo se proyecte en cada cara del tablero. El clavo debe ser colocado en el centro del ancho y ubicado a $\frac{1}{4}$ y a $\frac{3}{4}$ in desde un extremo. El ensayo se realizara para cada una de las tres distancias del borde para cada material ensayado. El espesor de cada probeta debe ser medido con una precisión de no menos de $\pm 0.3\%$

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Procedimiento:

Sujete el extremo de probeta opuesto al extremo con el clavo en posición paralela al movimiento de la maquina de ensayos. Acople el clavo por un estribo, y conéctelo a su vez a una platina de la maquina de ensayos por una varilla, tal y como se muestra en la figura 9.

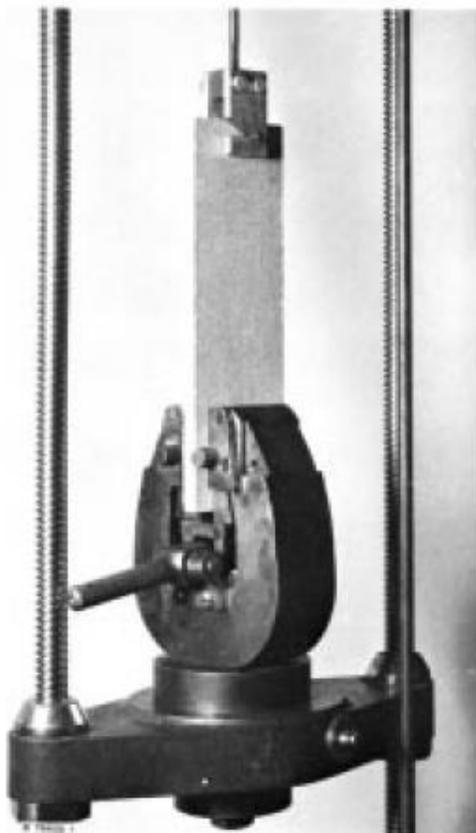


Figura 9. Ensamble del ensayo para medir la resistencia de clavos a movimiento lateral.

Cargue la probeta en forma continua durante todo el ensayo mediante la separación de las cabezas de la maquina de ensayos a una velocidad uniforme a través de ellas de 0.25in/min (6mm/min).

La carga requerida para mover el clavo hacia los extremos de la probeta será la medición de la resistencia lateral, la carga máxima y el tipo de falla también deben ser incluidos.

9. Ensayo de resistencia de clavos y tornillos por cara plywood y LVL “Nail Withdrawal Test” (ASTM D-1037). Sección 47-53 p: 9.

Ensayos de retención de clavos deben ser hechos sobre clavos conducidos a través de las probetas cara a cara para medir la resistencia de retirada en un plano normal de la cara. Cuando la información general es deseada el clavo común o su equivalente debería ser usado. Para usos especiales, sin embargo, este procedimiento es adaptable a otros tamaños y tipos de sujetadores.

Probetas:

Las probetas del ensayo serán de tamaño conveniente (al menos 3 in. (76 mm) de ancho y 6 in. (152 mm) en longitud). Clavos de 0.113 in (2.80mm) de diámetro deben ser conducidos a través del tablero en ángulos rectos a la cara, y al menos ½ in (12mm) del clavo debe proyectarse por encima de la superficie del material. El espesor de cada probeta debe ser medido con una precisión de no menos de $\pm 0.3\%$

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Procedimiento:

El montaje del ensayo de retirada directa se muestra en la figura 10. Adjunte el modelo de retención de soporte a la parte inferior de la platina máquina de ensayo. Inserte la probeta en el soporte con las cabezas de los clavos hacia arriba. Enganche las cabezas de los clavos por el soporte de aplicación de la carga equipado con una ranura para la fácil adhesión. Este accesorio de carga se adjunta a la parte superior de la máquina de ensayo. Las cargas se aplicarán mediante la separación de las platinas de la máquina de ensayo.

Aplicar la carga a la probeta durante todo el ensayo por un movimiento uniforme de la cabeza móvil de la máquina de ensayo a una velocidad de 0,06 pulgadas/min (1,5 mm/min).

La carga máxima necesaria para retirar el clavo será la medida de la resistencia del material a la retirada directa del calvo.



Figura 10. Ensamble del ensayo para medir la resistencia de clavos a retiro directo.

Anexo 2: Artículo científico: Tenorio, C; Moya, R; Muñoz, F. 2011. Propiedades físico y mecánicas de tableros de plywood y LVL construidos con *Gmelina arborea* de plantaciones de rápido crecimiento. Journal of Wood Science 57:154-159.

J Wood Sci (2011) 57:134–139
DOI 10.1007/s10086-010-1149-7

© The Japan Wood Research Society 2011

ORIGINAL ARTICLE

Carolina Tenorio · Róger Moya · Freddy Muñoz

Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made of wood from fast-growing *Gmelina arborea* trees

Received: May 7, 2010 / Accepted: August 9, 2010 / Published online: January 4, 2011

Abstract Laminated products, such as laminated veneer lumber (LVL) or plywood (PW), have become important recently. The objective of this study was to determine and compare properties of panels fabricated with veneers of *Gmelina arborea* trees in a fast-growth plantation and glued with phenol formaldehyde resin. The results showed that LVL and PW physical and mechanical properties are comparable to those of solid wood with a specific gravity of 0.60. Moreover, these panels can be cataloged into group 2 of PS 1-95 of the Voluntary Products Standard of the United States. The difference in physical properties was not statistically significant between LVL and PW panels, except for water absorption. Some mechanical properties, such as hardness and glue-line shear, modulus of rupture in perpendicular flexure, nail and screw withdrawal parallel, and perpendicular strength, were statistically different between LVL and PW. However, no differences were established for the modulus of elasticity, tensile strength parallel to the surface, or tensile strength perpendicular to the surface. The differences were attributed to the veneers' orientation in the panels studied.

Key words Veneers · Delamination · Adhesive · Resistance · Tropical wood

Introduction

Wood is an important material that can be used in different forms and situations. Its characteristics are comparable to those of other structural materials,¹ but increased demand for wood has caused a decrease in forest resources.² One

way to increase forest resources, thereby protecting the natural forest, was developed wherein composite products from solid wood are manufactured.²

Veneer products, such as plywood and laminated veneers, have been developed as an alternative to solid products.³ This method allows small logs from plantations and unimportant species to be utilized in commercial products.⁴ Veneer products have various advantages over conventional solid wood, such as increased dimensional stability, uniformity and higher mechanical strength, improved stress-distributing properties, reduced processing cost, availability in larger sizes, and better appearance.^{1,5}

Physical and mechanical properties of veneer products are governed by the properties of the wood species utilized, the manufacturing process, the quality control process, and finally the application of these products.⁴ Plywood (PW) and laminated veneer lumber (LVL) (as wood-based material) are gaining increased interest for their benefits in structural and nonstructural usage⁶; in fact, they are starting to be used in applications typically dominated by steel and concrete.⁴ In the future, with the reduced availability of large, solid sawn structural members, engineered wood products will play an even more important role as structural material. Another important advantage of these products is their biological benefits, as low energy consumption is used in their transformation, and their natural composition means that the material is biodegradable, whereas steel and concrete are not.⁶

Gmelina arborea (melina) is widely used in commercial reforestation programs in tropical countries for sawn wood production, pulp, and bioenergy.⁷ *G. arborea* is one of the most important species of timber for solid wood production in Costa Rica, for example. Approximately 65 000 hectares are planted in different ecological zones of Costa Rica.⁸ *G. arborea* plantations are being managed under new concepts oriented to fast growth and high productivity.⁹

However, the usage of *G. arborea* from fast-growth plantations in laminated products is limited in Costa Rica. Some studies were carried out to investigate the possibilities of the using this wood in glulam and LVL products.^{10,11} However, these studies had researched the mechanical

C. Tenorio · R. Moya (✉) · F. Muñoz
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal,
PO Box 159-7050, Cartago, Costa Rica
Tel. +506-2550-2433; Fax +506-2591-3315
e-mail: ctenorio@itcr.ac.cr

resistance of finger-joints made of *G. arborea* wood for manufacturing glued laminated beams¹⁰ and the mechanical properties of LVL as flanges of a composite “I” beam.¹¹ Therefore, the objective of this study was to determine and compare physical and mechanical properties of plywood and five-layer LVL. A better understanding can help us develop productive uses for fast-growth plantations, thereby mitigating environmental problems with disappearing tropical natural forests.

Materials and methods

Wood materials

Three *G. arborea* panels of PW and three LVL panels were selected from the production process at Maderas Cultivadas de Costa Rica S.A in Costa Rica.¹² They were chosen randomly during 2 days of production. The panel dimensions were 244 cm long \times 122 cm wide \times 12 mm thick. The veneers were obtained from rotating-shift trees growing under a fast condition in a pure plantation (12–14 years).

Process

Logs >25 cm in diameter and about 2.6 m long were rotary peeled into veneers on a lathe. The average moisture content (MC) of dried veneers varied from 6% to 8%. Six-veneer panels of PW and LVL were used; veneers 3 mm thick were used for the exterior face, and veneers 1.5 mm thick were used in the central part (Fig. 1). PW and LVL panels were classified in the AA category on the Costa Rican market, where exterior veneers are the best quality (A) and central veneers are B or C quality. The layers were glued using phenol formaldehyde (PF) resin, which was applied on one face of the veneer with a glue spread rate of 220 g/m² using a glue roller. The panels were pressed at 150 bars at a temperature of 120°C for 7 min. The panels were conditioned for 24 h, after which they were cut into their final dimensions.

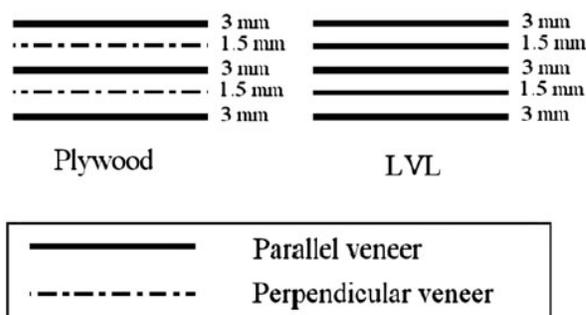


Fig. 1. Arrangement of *Gmelina arborea* veneers in plywood and laminated veneer lumber (LVL) panels

Sampling method

The amount, grain direction, and size of the test probe for physical and mechanical properties were determined for the panels, and they were sampled randomly. The sampling was carried out according to the standard EN 326-1.¹³ Figure 2 shows the distribution of probes in half panels (122 \times 122 cm). To complete the number of samples required for testing, the others were cut on the other half panel. The probes for specific gravity, direct MC measurement, delamination, tensile strength perpendicular to surface, glue-line shear test, and shear strength in the plane of the board are not shown in Fig. 2 because their dimensions were extremely small (5 \times 5 cm), and they were obtained from the parts left over in the other half panel.

Physical, delamination, and mechanical properties determination

Specific gravity, density, direct MC measurement, variation in thickness, water absorption, and thickness swelling were determined to study the physical properties. ASTM standard D-2395¹⁴ was used for the specific gravity determination, ASTM standard D-4442¹⁵ for MC measurement, and

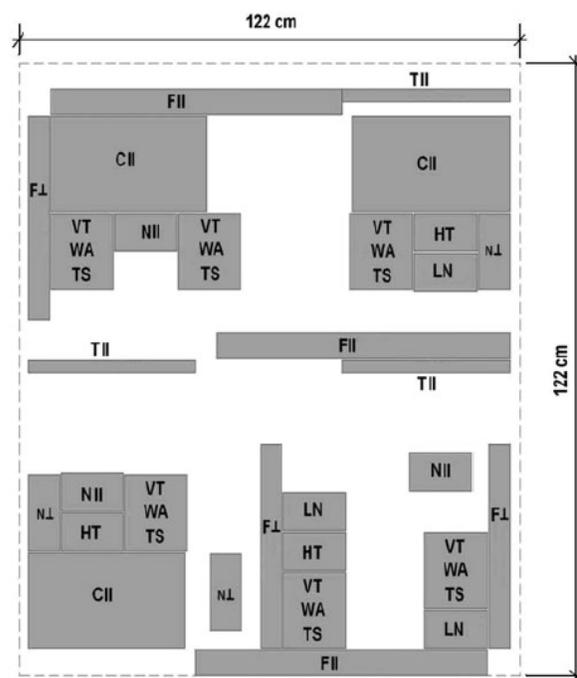


Fig. 2. Distribution of samples in laminated panel of *Gmelina arborea* (122 \times 122 cm). F||, center, point flexure test (parallel); F \perp , center, point flexure test (perpendicular); C||, compression test for large specimens (parallel); T||, tensile properties of small specimens (parallel); HT, hardness test; LN, lateral nail resistance test; N||, nail and screw withdrawal (parallel) test; N \perp , nail and screw withdrawal (perpendicular) test; VT, variation in thickness; WA, water absorption; TS, thickness swelling

Table 1. Statistical parameters of physical properties of 12 mm-thick plywood and LVL panels (244 × 122 cm) manufactured with *Gmelina arborea* wood from a fast-growth plantation

Properties	Plywood	LVL	Average	ANOVA	
				Medium square of error	F value
Specific gravity	0.52 (0.04) ^A	0.52 (0.03) ^A	0.52 (0.03)	0.16	NS
Density at 12% (kg/m ³)	516 (44.03) ^A	523 (24.71) ^A	519 (34.37)	1172	NS
Moisture content (%)	12.35 (1.64) ^A	12.10 (1.22) ^A	12.23 (1.44)	0.00	NS
Thickness variation (mm)	1.26 (0.91) ^A	1.23 (0.92) ^A	1.25 (0.92)	0.00	NS
Water absorption (%)	17.79 (2.78) ^A	15.23 (1.10) ^B	16.51 (1.94)	0.00	**
Thickness swelling (%)	2.09 (0.92) ^A	1.76 (2.35) ^A	1.93 (1.64)	0.62	NS

Results are expressed as the mean; values in parentheses represent the coefficient of variation. Different letters (superscript A, B) in plywood and LVL for the same wood properties are different statistically at 99%

LVL, laminated veneer lumber; ANOVA, analysis of variance

* Significant at 95%

** Highly significant at 99%

ASTM standard D-1037¹⁶ for variation in thickness, water absorption, and thickness swelling. The delamination properties were measured by shear strength in the plane of the board test, and it was determined under three conditions: air-conditioning, boiling water, and vacuum-pressure. The air-conditioned test was determined according to ASTM D-1037,¹⁶ for boiling water JAS¹⁷ was used, and for vacuum-pressure ASTM D-2559 was followed.¹⁸ Eleven types of mechanical test were conducted in this study: tensile strength parallel to the surface (T_{||}), tensile strength perpendicular to the surface (T_⊥), compression strength parallel to the surface (C_{||}), hardness test (HT), glue-line shear test (GS), shear strength in the plane of the board (PS), center-point flexure test parallel and perpendicular to the surface (F_{||} and F_⊥, respectively), lateral nail resistance strength (LN), and nail and screw withdrawal parallel and perpendicular strength (N_{||} and N_⊥, respectively). ASTM standard D-3500¹⁹ was used in T_{||}, ASTM standard D-3501²⁰ for C_{||}, ASTM standard D-3043²¹ for F_{||} and F_⊥, and ASTM standard D-1037¹⁶ for T_⊥, GS, PS, HT, L_{||}, L_⊥, and for nail and screw determinations.

Statistical analysis

The normality and the presence of extreme data or outliers were verified for each panel property. A general statistical description (average and coefficient of variation) was then performed for the various panel properties. An analysis of variance (ANOVA) was used to test differences between the PW and LVL panels. Mean differences between panels were evaluated using Tukey's test ($P < 0.01$).

Results and discussion

Physical properties

Average and statistical analyses of physical properties for PW and five-layer LVL of *G. arborea* are detailed in Table 1. The average values for the two panels were as follows:

specific gravity 0.52; density 519 kg/m³; MC 12.23%; thickness variation (\pm) 1.25 mm; water absorption after 24 h 16.51%; thickness swelling 1.93%. The ANOVA (Table 1) did not show statistical differences for physical properties, with the unique exception of water absorption, where PW had higher absorption than LVL (Table 1).

Perhaps by using the same raw material and the same manufacturing conditions for PW and LVL panel fabrication there would be no statistically significant differences in their physical properties (Table 1). However, water absorption after 24 h was different between PW and LVL panels. Several studies have confirmed scarce or null variation of physical properties in different veneer products.^{2,22} Shukla and Pascal² showed that physical properties of LVL made with different hardwood species are mainly governed by the physical properties of the wood species, not by manufacturing conditions. The results of Abdul et al.²² agreed with our findings. They found that thickness swelling percentage of PW made with *Betula pubescens* and *Alnus glutinosa* wood is influenced by species characteristics, such as moisture content, but that these physical properties were not affected by the size or thickness of the veneers.

Wood is a hygroscopic material.²³ The panels in our study were subjected to water absorption for 24 h. The results indicated that this physical parameter was different in PW and LVL panels (Table 1). Water absorption was lower in LVL than PW, suggesting that the LVL panels are less susceptible to dimensional change than PW panels. Although the two panels were fabricated from the same raw material, the difference found between the panels can probably be attributed to the orientation of the veneers in the panels.

The values for the physical properties obtained with *G. arborea* agreed with those of other studies. Babatunde et al.²⁴ found thickness swelling from 1.13% to 4.22% and from 17.81% to 18.77% due to water absorption. These values are similar to the ones reported in Table 1. Those authors mentioned that *G. arborea* had physical properties similar to those of *Leucaena leucocephala*. Species with similar density,^{2,5} such as *Acer saccharinum* (542 kg/m³), *Liriodendron tulipifera* (492 kg/m³), and *Acacia mangium* (620 kg/m³), have physical properties close to those of *G.*

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Table 1. Statistical parameters of physical properties of 12 mm-thick plywood and LVL panels (244 × 122 cm) manufactured with *Gmelina arborea* wood from a fast-growth plantation

Properties	Plywood	LVL	Average	ANOVA	
				Medium square of error	F value
Specific gravity	0.52 (0.04) ^A	0.52 (0.03) ^A	0.52 (0.03)	0.16	NS
Density at 12% (kg/m ³)	516 (44.03) ^A	523 (24.71) ^A	519 (34.37)	1172	NS
Moisture content (%)	12.35 (1.64) ^A	12.10 (1.22) ^A	12.23 (1.44)	0.00	NS
Thickness variation (mm)	1.26 (0.91) ^A	1.23 (0.92) ^A	1.25 (0.92)	0.00	NS
Water absorption (%)	17.79 (2.78) ^A	15.23 (1.10) ^B	16.51 (1.94)	0.00	**
Thickness swelling (%)	2.09 (0.92) ^A	1.76 (2.35) ^A	1.93 (1.64)	0.62	NS

Results are expressed as the mean; values in parentheses represent the coefficient of variation. Different letters (superscript A, B) in plywood and LVL for the same wood properties are different statistically at 99% LVL, laminated veneer lumber; ANOVA, analysis of variance

*Significant at 95%

**Highly significant at 99%

ASTM standard D-1037¹⁶ for variation in thickness, water absorption, and thickness swelling. The delamination properties were measured by shear strength in the plane of the board test, and it was determined under three conditions: air-conditioning, boiling water, and vacuum-pressure. The air-conditioned test was determined according to ASTM D-1037,¹⁶ for boiling water JAS¹⁷ was used, and for vacuum-pressure ASTM D-2559 was followed.¹⁸ Eleven types of mechanical test were conducted in this study: tensile strength parallel to the surface (T_{||}), tensile strength perpendicular to the surface (T_⊥), compression strength parallel to the surface (C_{||}), hardness test (HT), glue-line shear test (GS), shear strength in the plane of the board (PS), center-point flexure test parallel and perpendicular to the surface (F_{||} and F_⊥, respectively), lateral nail resistance strength (LN), and nail and screw withdrawal parallel and perpendicular strength (N_{||} and N_⊥, respectively). ASTM standard D-3500¹⁹ was used in T_{||}, ASTM standard D-3501²⁰ for C_{||}, ASTM standard D-3043²¹ for F_{||} and F_⊥, and ASTM standard D-1037¹⁶ for T_⊥, GS, PS, HT, L_{||}, L_⊥, and for nail and screw determinations.

Statistical analysis

The normality and the presence of extreme data or outliers were verified for each panel property. A general statistical description (average and coefficient of variation) was then performed for the various panel properties. An analysis of variance (ANOVA) was used to test differences between the PW and LVL panels. Mean differences between panels were evaluated using Tukey's test ($P < 0.01$).

Results and discussion

Physical properties

Average and statistical analyses of physical properties for PW and five-layer LVL of *G. arborea* are detailed in Table 1. The average values for the two panels were as follows:

specific gravity 0.52; density 519 kg/m³; MC 12.23%; thickness variation (\pm) 1.25 mm; water absorption after 24 h 16.51%; thickness swelling 1.93%. The ANOVA (Table 1) did not show statistical differences for physical properties, with the unique exception of water absorption, where PW had higher absorption than LVL (Table 1).

Perhaps by using the same raw material and the same manufacturing conditions for PW and LVL panel fabrication there would be no statistically significant differences in their physical properties (Table 1). However, water absorption after 24 h was different between PW and LVL panels. Several studies have confirmed scarce or null variation of physical properties in different veneer products.^{2,22} Shukla and Pascal² showed that physical properties of LVL made with different hardwood species are mainly governed by the physical properties of the wood species, not by manufacturing conditions. The results of Abdul et al.²² agreed with our findings. They found that thickness swelling percentage of PW made with *Betula pubescens* and *Alnus glutinosa* wood is influenced by species characteristics, such as moisture content, but that these physical properties were not affected by the size or thickness of the veneers.

Wood is a hygroscopic material.²³ The panels in our study were subjected to water absorption for 24 h. The results indicated that this physical parameter was different in PW and LVL panels (Table 1). Water absorption was lower in LVL than PW, suggesting that the LVL panels are less susceptible to dimensional change than PW panels. Although the two panels were fabricated from the same raw material, the difference found between the panels can probably be attributed to the orientation of the veneers in the panels.

The values for the physical properties obtained with *G. arborea* agreed with those of other studies. Babatunde et al.²⁴ found thickness swelling from 1.13% to 4.22% and from 17.81% to 18.77% due to water absorption. These values are similar to the ones reported in Table 1. Those authors mentioned that *G. arborea* had physical properties similar to those of *Leucaena leucocephala*. Species with similar density,^{2,5} such as *Acer saccharinum* (542 kg/m³), *Liriodendron tulipifera* (492 kg/m³), and *Acacia mangium* (620 kg/m³), have physical properties close to those of *G.*

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

arborea. However, an advantage of *G. arborea* over these other species is that the water absorption and thickness swelling are lower. Water absorption of *G. arborea* averaged 16.51%; whereas *A. saccharinum*, *L. tulipifera*, and *A. mangium* reported higher values: 66.75%, 44.31%, and 20.0%, respectively.^{2,5} For thickness swelling, *A. saccharinum* and *L. tulipifera* reported 3.13% and 4.77%, respectively,² which are greater than those for *G. arborea*. However, *A. mangium* reported 1.57%,⁵ a value slightly lower than that for *G. arborea*. The physical properties obtained for *G. arborea* can be compared with those of group 2 of the Voluntary Product Standard PS 1-95 for Construction and Industrial Plywood from the U.S. National Institute of Standards and Technology.²⁵ Specific gravity averaged 0.52 in *G. arborea*; and species in group 2 of PS 1-95 had similar values (0.35–0.55). Therefore, PW of LVL panels fabricated with *G. arborea* can be classified in group 2 of this standard.

Delamination properties

Shear strength evaluated under three conditions is shown in Fig. 3. The strength resistance varied from 1.72 to 3.97 MPa. Although LVL panels had a lower shear strength in boiling water than when the condition was air-dried or vacuum-pressed, the difference was not statistically significant. The boiling water vacuum-press test decreased the shear strength significantly compared with the air-dried test in PW panels, but no differences were established between the boiling water and the vacuum-press tests (Fig. 3). LVL panels presented higher shear strength than PW panels under all conditions (Fig. 3). This difference can be attributed to the different orientation of veneers in the panels. PW is manufactured from sheets of cross-laminated

veneers, which is different from the arrangement in LVL panels, where the sheets are parallel-laminated veneers. During the shear test, the force applied to PW is perpendicular to the veneer direction, whereas the force applied to LVL panels is parallel to the veneer direction. The decreased shear resistance seen after the boiling water test or vacuum-press test in PW (Fig. 3) is produced by weakening of the glue line between two sheets during the aging test.²⁶

Vick²⁷ noted that sheets or veneers cut from logs with rotary peeler are characterized by the presence of small checks, called lathe checks, on the side of the veneers; no checks are present on the other side of the sheet. Lathe checks are formed when the veneer is bent sharply as it passes between the knife and the nosebar.²⁸ During the glue process, the nonchecked side is glued onto the checked side of the veneer; therefore, the irregularities on the surface are filled by adhesive. We think that the irregularities on the surface are increased by the perpendicular joining of two veneers in PW. This situation increases the adhesive quantity applied and therefore decreases glue-line resistance in PW. When the veneers are glued parallel in LVL panels, the irregularities decrease by adjusting the checks on the surface of veneers. Therefore, empty spaces in the sheets decrease and glue-line resistance increases. It is possible that the boiling water and vacuum-press tests have a greater effect on PW than on LVL, so the shear strength for these test conditions show lower resistance in PW (Fig. 3).

ASTM D-5751 “Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions” established minimum requirements for shear strength of the glue line for structural usage.²⁹ These values are derived from the resistance of solid wood in the shear test. Moya⁸ estimated that the shear strength of solid wood of *G. arborea* was 6.2 MPa. According to ASTM D-5751,²⁹ it was calculated as the minimum and the mean shear strength (Table 2). PW and LVL panels had higher shear resistance than the minimum values established by the ASTM standard under all conditions of testing. The shear strength of the PW panels did not reach the mean resistance of solid wood, whereas the shear resistance of the LVL panels had mean values above the minimum under all conditions (Fig. 1, Table 2). We observed that LVL panels are widely different with respect to resistance. On the contrary, although the shear strength of PW panels is higher than the minimum shear resistance required, its values are close to the minimum (Fig. 1, Table 2). Therefore, LVL and PW panels can be classified as satisfactory for structural uses, but special care must be taken with PW panels because they reach only the minimum shear strength of solid wood.

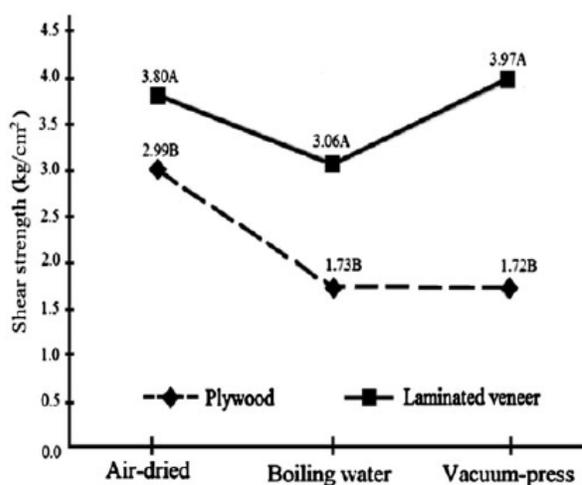


Fig. 3. Shear strength average obtained in 12 mm thick plywood and laminated veneer made of *G. arborea* wood (244 × 122 cm). Different letters (A, B) are different statistically at 99%

Mechanical properties

The averages and statistical analysis of physical properties for 12 mm thick PW and five-layer LVL of *G. arborea* are presented. It was found that PW panels have higher resistance than LVL at maximum load in terms of hardness, the glue-line test, and maximum load in lateral nail withdrawal

Table 2. Average and minimum resistance in shear strength test for plywood and LVL derived from the shear strength of solid wood (*G. arborea*)

Parameter	Resistance (MPa)			
	Solid wood	Natural test	Boiling water	Vacuum-press
Mean	6.2 (100%)	3.72 (60%)	2.48 (40%)	3.10 (50%)
Minimum	6.2 (100%)	1.86 (30%)	1.24 (20%)	1.55 (25%)

Values in parentheses represent the percentage of shear strength in solid wood established by ASTM D-5751-99

Table 3. Average and statistical parameters of the mechanical properties of 12 mm thick plywood and LVL and solid wood of *G. arborea*

Mechanical properties	Plywood	LVL	Solid wood	ANOVA	
				Medium square of error	F value
Tensile, parallel					
MOE (MPa)	45.38 (32.62) ^A	41.37 (25.40) ^A	–	0.00	NS
Maximum stress (MPa)	33.46 (23.46) ^A	37.40 (16.35) ^A	46.1	0.00	NS
Tensile, perpendicular: maximum stress (MPa)	0.66 (0.14) ^A	0.76 (0.10) ^A	0.47	0.15	NS
Compression parallel					
MOE (MPa)	23.05 (7.47) ^A	20.66 (16.68) ^A	–	138	NS
Maximum stress (MPa)	18.77 (4.85) ^A	10.13 (6.86) ^A	31.19	47	NS
Hardness: maximum load (kg)	223.47 (25.49) ^A	192.96 (27.33) ^B	285	555	**
Glue-line shear: maximum stress (MPa)	3.06 (0.79) ^A	1.47 (0.34) ^B	–	0.00	**
Shear in the plane: maximum stress (MPa)	3.68 (0.86) ^A	4.41 (1.19) ^B	6.18	10.95	*
Flexure perpendicular					
MOE (GPa)	1.73 (0.66) ^A	2.21 (3.96) ^A	–	821	NS
MOR (MPa)	17.68 (6.23) ^A	12.28 (34.04) ^B	–	0	**
Flexure parallel					
MOE (GPa)	11.21 (3.65) ^A	12.86 (2.88) ^A	8.14	1089	NS
MOR (MPa)	46.59 (15.14) ^A	61.39 (15.93) ^B	49.32	2462	**
Lateral nail withdrawal					
Maximum load (kg) at 9 mm	93.24 (18.13) ^A	63.96 (22.70) ^B	–	422	**
Maximum load (kg) at 19 mm	–	97.49 (21.13)	–	–	–
Screw withdrawal					
Maximum load (kg), parallel	106.06 (10.76) ^A	90.52 (15.91) ^B	–	69	**
Maximum load (kg), perpendicular	112.50 (11.31) ^A	90.28 (7.01) ^B	–	4.86	**
Nail withdrawal					
Maximum load (kg) parallel	12.95 (4.17) ^A	14.49 (3.10) ^B	–	5.25	**
Maximum load (kg) perpendicular	16.38 (3.44) ^A	15.08 (3.56) ^B	–	3.33	**

Results are the average. The values in parentheses represent the coefficient of variation. Different letters in plywood and LVL for the same wood properties are different statistically at 99%

Lateral nail withdrawal at 19 mm was not determined because the nail is less resistant than plywood

MOE, modulus of elasticity; MOR, modulus of rupture

* Significant at 95%

** Highly significant at 99%

and screw withdrawal (Table 3). On the contrary, PW has lower values than LVL in terms of shear in the plane test, modulus of rupture (MOR) in flexure-parallel, and maximum load in nail withdrawal (Table 3). No statistical differences between PW and LVL panels were established in regard to the modulus of elasticity (MOE) and maximum stress in the tensile-parallel test, maximum stress in the tensile-perpendicular test, maximum stress in the compression-parallel test, and the flexure-parallel test (Table 3).

Mechanical properties of PW and LVL panels made of *G. arborea* wood from a fast-growth plantation have resistance similar to solid wood in regard to most properties, with the exception of maximum stress in tension and compression parallel to the grain (Table 3). It is important to note that it has been suggested but not established that some mechanical properties are affected by the orientation

of the veneer in the panel. The values for stress in tensile-parallel, tensile-perpendicular, compression-parallel, and MOE in flexure-perpendicular were no statistically different between panels. However, other mechanical properties were affected by the orientation of the veneer in the panel, such as hardness, two kinds of shear test, the MOR of two flexure tests, and nail and screw withdrawal.

Another important point to emphasize is that mechanical properties of glued veneer products, specifically nail and screw withdrawal, were affected by the orientation of the veneer in the panel. For example, PW panels have better resistance if two pieces are joined by nails or screws. However, when two pieces are nailed parallel to the fiber, LVL panels have better resistance.

Abdul et al.²² noted that some mechanical panel properties depend on panel density, nail and screw diameter, deep

penetration of nail and screw, wood species, moisture content, spiral grain, adhesive characteristics, and veneer thickness. Nevertheless, the results obtained in this study confirmed that differences in many panel properties (including physical, mechanical, and delamination properties) can be attributed to the orientation of the veneer in the panel.

Conclusions

The PW and LVL panels made of *G. arborea* veneer from a fast-growth plantation had similar specific gravity, density at 12% MC, and thickness variation. There was a difference between them in regard to water absorption. The rare physical property differences between panels are due to the raw material characteristics, not veneer orientation.

The aging tests (boiling water and vacuum-press) produced negative effects in PW and LVL, but the effect on PW was greater; the shear resistance of PW was longer than that of LVL. The shear strength of both veneer products met the minimum requirements of ASTM standard D-5751 for adhesives utilized in structural panels, but PW did not reach the mean value required by the ASTM standard.

Most mechanical properties of PW and LVL composed of *G. arborea* wood are different, and these differences were attributed to the orientation of the veneer in the panels. On the other hand, the mechanical properties of these veneer products were similar to those of solid wood. The physical properties obtained for *G. arborea* can be compared to those of group 2 in the Voluntary Product Standard PS 1-95 "Construction and Industrial Plywood" from the U.S. National Institute of Standards and Technology (1996).

Acknowledgments The authors thank the Vicerrectoría de Investigación y Extensión of Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) for the financial support and Maderas Cultivadas de Costa Rica S.A., for technical-logistical support and panels manufacturing.

References

- Kamala BS, Kumar P, Rao RV, Sharma SN (1999) Performance test of laminated veneers lumber (LVL) from rubber wood for different physical and mechanical properties. *Holz Roh Werkst* 57:114–116
- Shukla SR, Pascal D (2008) Properties of laminated veneer lumber (LVL) made with low density hardwood species effect of the pressure duration. *Holz Roh Werkst* 66:119–127
- Aydin I, Colak S, Colakoglu G, Salih E (2004) A comparative study on some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) produced from beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn) veneers. *Holz Roh Werkst* 62:218–220
- Lam F (2001) Modern structural wood products. *Prog Struc Eng Mater* 3:238–245
- Wong ED, Razali AK, Shuichi K (1996) Properties of rubber wood LVL reinforced with *Acacia* veneers. *Wood Res* 83:8–16
- Ozarska B (1999) A review of the utilization of hardwoods for LVL. *Wood Sci Tech* 33:341–351
- Dvorak WS (2004) World view of *Gmelina arborea* opportunities and challenges. *New Forest* 28:111–126
- Moya R (2004) Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forest* 28:299–307
- Calvo JC, Arias D, Richter DD (2007) Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the southern region of Costa Rica. *Forest Ecol Manag* 242:227–235
- González G, Moya R, Monge F, Cordoba R, Coto J (2004) Evaluating the strength of finger-joined lumber of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forest* 28:319–323
- Sasaki H, Wan Q, Kawai S (1993) Laminated veneer lumber and composite beams produced from tropical hardwood thinning. *Curr Jpn Mater Res* 11:55–66
- Maderas Cultivadas S. A. (2009) <http://www.maderascultivadas.com> Accessed January 15, 2010
- European Norms (1994) EN 326-1 Wood-based panels: sampling, cutting and inspection; sampling and cutting of test pieces and expression of test results. United European, Brussels
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-2395-02: Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-4442-92: Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-1037-92: Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10
- JAS – Japan Agriculture Standard (2007) JAS notification no. 111: Structural plywood standard notification, glue laminated timber. Japanese Ministry of Agricultural Forests and Fisheries
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-2559-92: Standard specification for adhesives for structural laminated wood products for use under exterior (wet use) exposure conditions. ASTM International, West Conshohocken, vol 15-06
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-3500-92: Standard test methods for structural panels in tension. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-3501-92: Standard test methods for wood-based structural panels in compression. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10
- ASTM International (2003) ANSI/ASTM D-3043: Standard test methods for structural panels in flexure. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10
- Abdul HPS, Nurul MR, Bhat AH, Jawaid M, Nik NA (2010) Development and material of new hybrid plywood from oil palm biomass. *Mater Design* 31:417–424
- Chauhan SS, Aggarwal P (2004) Effect of moisture sorption state on transverse dimensional changes in wood. *Eur J Wood Wood Prod* 62:50–55
- Babatunde A, Olufemi B, Fuwape JA, Badejo SO (2008) Effect of wood density on bending strength and dimensional movement of flake boards from *Gmelina arborea* and *Leucaena leucocephala*. In: Proceedings of the 11th international inorganic-bonded fiber composites conference, Madrid, pp 260–266
- National Institute of Standards and Technology (1988) Voluntary products standard PS 1-95: construction and industrial plywood. National Institute Standards, Technology Products Standards of USA, 48 pp
- Norita H, Kojima Y, Susuki S (2008) The aging effects of water treatments in wet-bending for standardized testing of wood panels. *J Wood Sci* 54:121–127
- Vick C (1999) Adhesive bonding of wood materials. In: Wood handbook – wood as an engineering material. Gen. Tech. Reo. FPL-GTR-113. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, p 463
- Sheldon S, Walker J (2006) Wood-based composites: plywood and veneer-based products. In: Walker J (ed) Primary wood processing: principles and practice, 2nd edn. Springer, New York, pp 391–426
- ASTM International (2005) ANSI/ASTM D-5751 (reproved 2003). Standard specification for adhesives used for laminated joints in nonstructural lumber products. ASTM International, West Conshohocken, vol 04-10

INFORME FINAL DE PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I”

Anexo 3: Artículo científico: Tenorio, C; Moya, R; Camacho, D. 2011. Propiedades físico-mecánicas de tableros terciados construídos con especies tropicales de plantaciones para utilizar en vigas I. (Sometido a la Revista CERNE-Brasil).



Revista Cerne
Universidade Federal de Lavras
Departamento de Ciências Florestais
CP 3037 - 37200-000 Lavras, MG
Fone: 35-3829-1706 - Fax: 35-3829-1411
Site: www.dcf.ufla.br/cerne/
E-mail: cerne@dcf.ufla.br

UFLA/RC – 1112/2010

Lavras, 7 de julho de 2010.

Manuscrito 974 - Propiedades físico-mecánicas de tableros terciados construídos con especies tropicales de plantaciones para utilizar en vigas I

Autores: Carolina Tenorio, Roger Moya e Diego Camacho

Prezados Autores:

É com muita satisfação que recebemos o manuscrito acima referido para análise, visando publicação na **CERNE**.

Atenciosamente,

Prof. Antônio Donizette de Oliveira
Editor executivo da Cerne

Anexo 4. Artículo Científico. Tenorio, C; Moya, R; Camacho, D. 2012. Valores de diseño de vigas perfil tipo I con tableros contrachapados de madera de *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* (Sometido a la revista Maderas Ciencia y Tecnología - Chile)



**UNIVERSITY OF BIO-BIO
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF WOOD ENGINEERING**

**Maderas. Ciencia y tecnología
PAPER RECEPTION**

Title: "I-BEAM FABRICATED OF GMELINA ARBOREA OF FROM FAST GROWING TREES"

Authors: Róger Moya, Carolina Tenorio, Mauricio Carranza, Diego Camacho, Ignacio Rodríguez

Received: July 13, 2011

Submit to: Scientific board

Manuscript number: MCT2011-0047

Dr. Rubén A. ANANIAS
Director-Editor in chief
Maderas-CiencTecnol

Concepción-CHILE, July 13, 2011.

Maderas. Ciencia y tecnología/ ISSN 0717-3644 and e-ISSN 0718-221X.

2010 Impact Factor: 0.452

2010 Scimago Journal Rank: 0.033

Indexed in: ISI: SciSearch[®]. Materials Science Citation Index[®]. JCR/Science edition.

SCIELO. SCOPUS: Elsevier. SCIMAGO JOURNAL RANK. CHEMICAL ABSTRACT: Scifinder

Scholar. CAMBRIDGE SCIENTIFIC ABSTRACTS: Technological Research Database.

Engineering Research Database. CAB: Forest Products Abstracts. Biofuels Abstracts. Agricultural

Engineering Abstracts. Forestry Abstracts. Full-text database. REDALYC. PERIODICA. DOAJ.

ULRICH. EBSCO: Fuente Académica. LATINDEX.SOCOLAR.OPEN J-GATE. TEEAL.

DIALNET. e-REVIST@S.

INFORME FINAL DE PROYECTO

"DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES PARA VIGAS DE MADERA PERFIL TIPO I"