



FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI



II CAIM 2010  
Segundo Congreso Argentino  
de Ingeniería Mecánica  
San Juan - Noviembre 2010

## Comportamiento mecánico de *bins* construidos con paneles compensados de Álamo

Alberto Cárdenas <sup>(1)</sup>, Pablo N. Manzione <sup>(2)</sup> y Edgardo Santarelli <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> **GEPSyN. DMA. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400. (8300) NEUQUEN**

(1) [albertoc720@yahoo.com.ar](mailto:albertoc720@yahoo.com.ar), (2) [manzione@uncoma.edu.ar](mailto:manzione@uncoma.edu.ar), (3) [santarel@uncoma.edu.ar](mailto:santarel@uncoma.edu.ar)

### RESUMEN

El presente trabajo analiza el comportamiento estructural de *bins* construidos con paneles compensados de álamo. Para la caracterización estructural de estos paneles es necesario conocer dos propiedades mecánicas fundamentales; la resistencia y el módulo de elasticidad (E). Además, de ser utilizadas para el cálculo de la resistencia, son también necesarias para determinar la deformación producida cuando las estructuras son sometidas a carga. La variación de la geometría por deformación puede inducir a un estado combinado de tensiones más desfavorable para la resistencia del panel.

Este trabajo surge como resultado de la demanda de las empresas exportadoras de jugos concentrados, dado que en la actualidad no existen para este rubro estándares de calidad que permitan la aceptación de la materia prima de los embalajes y garanticen su funcionamiento estructural. Actualmente, no se especifican parámetros de calidad ni de comportamiento para la adquisición de estos productos. Este grado de incertidumbre ha causado importantes demoras en el envío de las exportaciones debido a la generación de fallas críticas de los "*bins*" durante el estibado en cámaras frigoríficas. Esto se tradujo en significativos daños económicos por pérdida de producto, lucro cesante y riesgo de pérdida del mercado internacional.

El presente trabajo realiza un exhaustivo análisis estructural de los *bins* abordando el mismo desde la óptica de los métodos numéricos, la estadística y la ciencia de materiales. De esta manera se atiende globalmente el estudio del *bin* desde su aspecto físico y mecánico estructural.

**Palabras Claves:** compensados, paneles, comportamiento mecánico, *bins*

## 1. INTRODUCCIÓN

En la zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén el desarrollo de la industria frutícola es muy importante. Esta economía regional impulsa otras actividades como la producción de jugos concentrados para exportación. El embalaje escogido para la exportación de jugos es el *bin*, que resulta de una estructura autoportante construida con paneles compensados de álamo.

Actualmente, las industrias exportadoras de jugos, no cuentan con un estudio acabado del comportamiento del embalaje desde el punto de vista mecánico, ni con caracterización mecánica de los paneles compensados utilizados. Los bins son construidos con materiales provistos por proveedores a los que no se les exige ningún tipo de requisitos mecánicos.

La resistencia y el módulo de elasticidad ( $E$ )[1] son propiedades importantes que permiten el dimensionado de paneles para uso estructural, como embalajes, containers, pallets y cualquier otra utilización de componentes planos sometido a cargas.

Estas propiedades se utilizan tanto para el cálculo de la resistencia, como también para determinar la deformación producida cuando estas estructuras son sometidas a carga. La variación de la geometría por efecto de la deformación puede inducir a un estado combinado de tensiones más desfavorable para la resistencia del panel.

Además es necesario determinar otras variables que influyen en los valores de la resistencia a la flexión y el módulo elástico, tales como el contenido de humedad y el tiempo.

El presente trabajo muestra los resultados experimentales, adecuados a las Normas ASTM, para evaluar las propiedades mecánicas como la resistencia y el módulo de elasticidad de diferentes proveedores, utilizando un método estadístico para la extracción de muestras. Además se determinaron los estados de tensiones y deformaciones en servicio, considerando al *bin* estibado, mediante modelado numérico, a fin de establecer valores mínimos necesarios de las propiedades de un panel mecánicamente apto, y contrastarlos con los obtenidos experimentalmente.

El análisis estructural de los *bins* [2-6] fue abordado desde la óptica de los métodos numéricos, la estadística y la ciencia de materiales. De esta manera se atiende globalmente el estudio del *bin* desde su aspecto físico y mecánico estructural.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1. Experimental

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional del Comahue. Se realizaron ensayos de flexión **Tipo A, según ASTM 3043** [7]. Estos ensayos permiten determinar las propiedades a la flexión de paneles de mas de 1.20m por 2.40m y en general son utilizados para compensados de madera y compuestos basados en madera.

Las muestras de paneles compensados fueron provistas por el interesado, Jugos del Sur S.A. y representan a 3 proveedores diferentes. A los fines de obtener una muestra aleatoria representativa de las placas utilizadas en la elaboración de bins de jugo se desarrollaron las siguientes tareas:

a) En el depósito de la empresa se identificaron los lotes de placas provenientes del Proveedor A recibidas en el año 2005 y las recibidas en 2006.



Figura 1 Ensayo de flexión según ASTM

b) Cada lote estaba compuesto por 80 placas apiladas sobre un pallets, de los cuales se extrajo una sola, seleccionada por su ubicación en la pila (de arriba hacia abajo) a través de un sistema de números aleatorios.

c) El volumen almacenado en el momento del muestreo estaba integrado por dos terceras partes del año 2006 y el resto del año 2005.

d) En función de lo anterior se decidió conformar una muestra compuesta en forma proporcional por las placas recibidas en 2005 y las recibidas en 2006.

e) Por razones de practicidad y costo se acordó en seleccionar una placa al azar de cada lote resultando una muestra de 36 placas: 24 recibidas en el año 2006 y 12 recibidas en el año 2005 extrayéndose 6 probetas por cada placa; 3 longitudinales y 3 transversales (Figura 2).

f) Para conformar un grupo de control o de comparación se seleccionaron aleatoriamente otras 4 placas recibidas de otros proveedores: 2 placas Proveedor B (6 probetas longitudinales y 6 transversales); y 2 placas Proveedor C (6 probetas longitudinales y 6 transversales).

Una vez cortadas e identificadas, las probetas se ensayaron en una máquina con control de desplazamiento, y equipada con un sistema de adquisición analógico – digital de datos.

A partir de los datos determinados en el ensayo de cada probeta, se calcularon el Módulo de Rotura ( $S_b$ ) y de Elasticidad ( $E$ ) [7-8], variables que fueron analizadas estadísticamente, a fin de obtener los percentiles necesarios para el plan de trabajo.

## 2.2. Método Numérico

El *bin* es estructuralmente un sistema que está compuesto de partes individuales rigidizadas entre sí a través de flejes horizontales y verticales (Figura 3). Debido a las características de simetría del contenedor el modelo adoptado solo contempla la interacción de una de las placas laterales con los flejes. Para el análisis se consideró una placa sujeta por los flejes, sometida a una carga hidrostática debida al contenido interno, y una carga lineal en el sentido axial (plano de la placa), derivada del peso de otros bins en el estibamiento.

La simulación numérica efectuada tuvo como objetivo la determinación de las tensiones horizontales y verticales máximas a las que están sometidas las placas de madera laminada que componen el *bin* [9-11], en función las hipótesis descriptas en el primer párrafo.

Para el cálculo se utilizó el programa SAP 2000. Se hicieron 4 modelos, 2 con los paneles de 20 mm actualmente utilizados y 2 con paneles de espesores superiores.

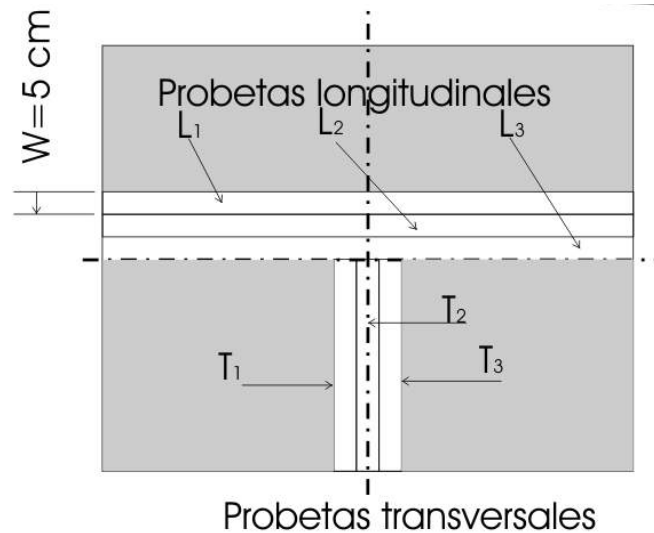


Figura Nº 2: Extracción de probetas



Figura Nº 3: Foto de un bin y sus componentes

Se consideraron los siguientes datos: Contenido neto = 1533 Kg; Peso del *bin* lleno = 1611 Kg; Resistencia a la ruptura del fleje = 65 Kg/mm (datos aportados por el usuario de los *bins*); espesor del panel: 20 mm. En la modelización solo se tuvieron en cuenta los flejes horizontales (figura 3), dado que durante el proceso de embalaje los flejes verticales son colocados posteriormente al llenado del bin, soportando el total de la carga los horizontales únicamente. También se consideraron los perfiles L que restringen el desplazamiento de los paneles en dos puntos de la base. De esta manera, la situación en la placa de compensado es la más crítica en términos de estados tensionales.

### 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Evaluación de los datos experimentales

De los datos experimentales se extrajo el valor correspondiente al percentil 5% ( $P_5$ ), como parámetro que caracteriza la calidad del lote. De este modo los parámetros correspondientes al 5 % serán  $Sb_{5\%}$  y  $E_{5\%}$  y los correspondientes al percentil 50% serán el *valor promedio* (average) denominados  $Sb_{Avg}$  y  $E_{Avg}$  (Tabla 1). Los valores obtenidos son comparables con los registrados en bibliografía [12-15].

Tabla 1: Resumen de resultados experimentales

Probeta →	Longitudinales [Kg/cm <sup>2</sup> ]						Transversales [Kg/cm <sup>2</sup> ]					
	Sb <sub>5%</sub>	E <sub>5%</sub>	Sb <sub>Avg</sub>	Desv. St	E <sub>Avg</sub>	Desv. St	Sb <sub>5%</sub>	E <sub>5%</sub>	Sb <sub>Avg</sub>	Desv. St	E <sub>Avg</sub>	Desv. St
A	162.9	25915.3	307.1	8.98	46327.4	1294	157.3	17606.8	282.0	8.2	41724.2	1458
B	303.1	40170.1	331.4	2.95	43266.0	198.2	273.2	33916.1	318.3	3.32	42724.7	577.4
C	235.0	46189.8	288.2	3.57	52651.9	551.1	69.3	22171.9	166.2	8.63	30262.8	817.6

Durante los ensayos, algunas probetas revelaron defectos tales como zonas sin láminas o despegue de las mismas (Figura 4), en muchos casos de este último con evidencia de falta de adhesivo.

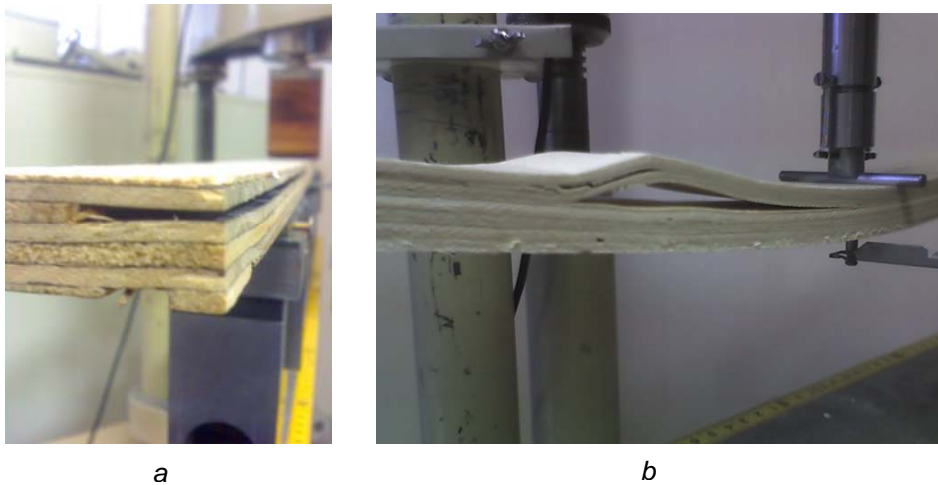


Figura 4: a) Faltante de material en la placa. b) Despegue de láminas durante el ensayo

También se graficaron los datos de  $Sb$  en función de  $E$  del proveedor A, mostrando una tendencia lineal creciente [16]. En los gráficos se nota una dispersión importante en los valores medidos experimentalmente que se ve corroborado en el desvío estándar (Tabla 1). Los resultados de las placas correspondientes a los proveedores B y C sólo se tomaron como valores de referencias para la comparación con otros proveedores, y no se realizó análisis estadístico debido a la baja cantidad de muestras ofrecidas.

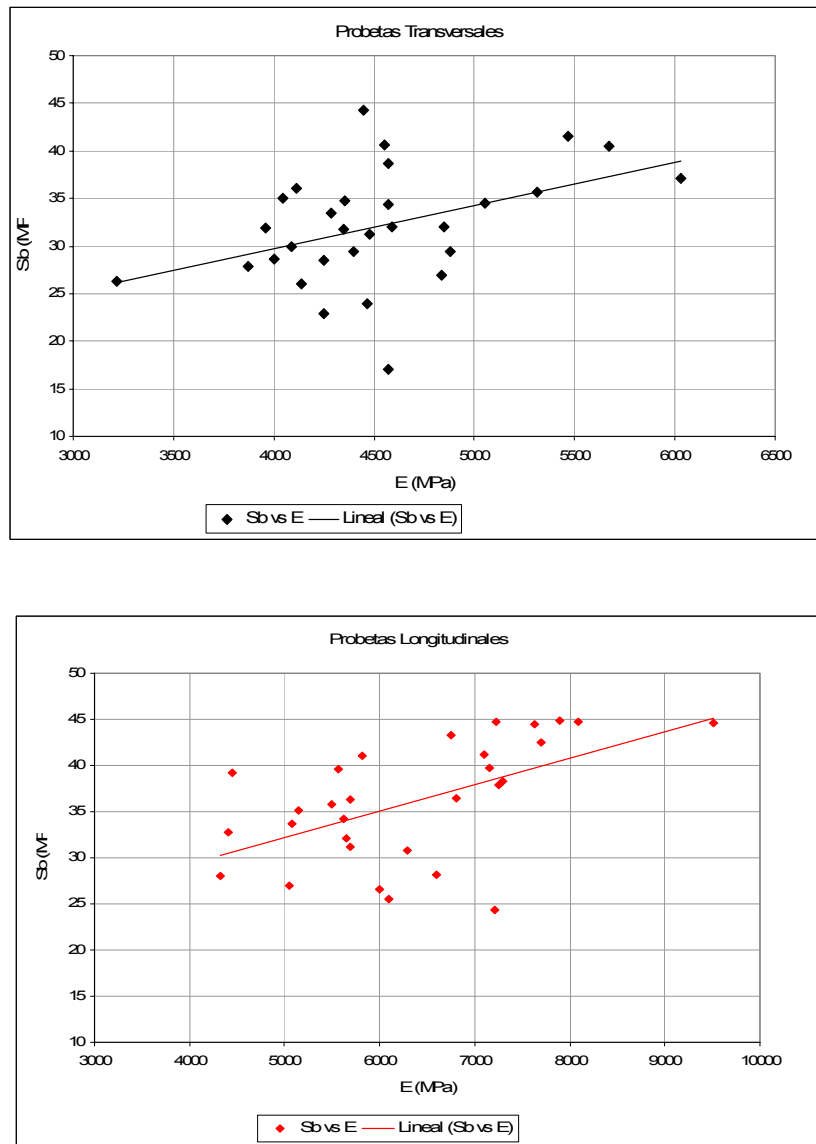


Figura 5: Valores experimentales de Sb y E del proveedor A

### 3.2. Evaluación del modelo

La Figura 6 se muestra el estado de tensiones del panel y en la Figura 7 la correspondiente deformada.

Tal como se planteaba más arriba, las condiciones modeladas corresponden a la situación más desfavorable, obteniéndose de esta manera valores de sollicitación máximos. Estos valores, afectados por coeficientes de seguridad, permitieron determinar la resistencia mínima requerida para los paneles. El máximo valor obtenido en la modelización se registra en la cara exterior sobre el borde superior central (ver en Figura 7). Las tensiones son de tracción y alcanzan un máximo de  $96.4 \text{ Kg/cm}^2$ .

También existen zonas de alta tensión en los puntos inferiores de la placa donde se asienta en los perfiles L pero estas tensiones son de compresión no afectando la estabilidad estructural del *bin*. La deformada de la placa es congruente con el estado de cargas, verificando concordancia con los valores de flechas medidos *in situ*.

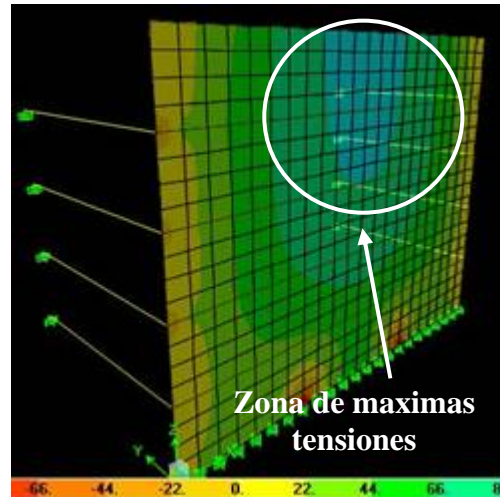


Figura 6: Estados de tensiones de tracción horizontales para la cara exterior del panel

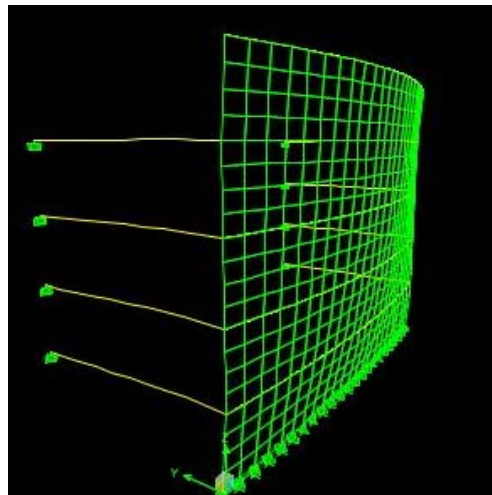


Figura 7: Malla del modelo de panel con flejes horizontales y la carga aplicada.

### 3.3. Factores de seguridad y modificación

La seguridad que se requiere para cálculo estructural en las construcciones de madera es la misma que la conseguida con los restantes materiales estructurales. Los criterios de seguridad especificados en la reciente normativa de cálculo son los mismos para todos los materiales y por tanto en ese aspecto no presenta ninguna diferencia.

El cálculo de estructuras de madera, de acuerdo con los principios definidos en el Eurocódigo 5 (ENV 1995 - 1 - 1) [17], se basa en comprobar la resistencia del material correspondiente a un determinado estado límite y ciertas condiciones de servicio [17-20]. El estado límite último ( $S_{b,d}$ ) se refiere al agotamiento de la estructura por tensión, estabilidad o equilibrio, en tanto que, el estado límite de servicio ( $S_b$ ) se refiere a la aptitud de servicio de la estructura frente a otros factores. El valor límite de servicio se obtiene a partir del valor límite último afectado por dos coeficientes, uno denominado clase de servicio ( $K_{mod}$ ), que tiene en cuenta la duración de la carga y contenido de humedad del elemento, y el otro relativo al material ( $\gamma_M$ ).

La humedad de la madera influye significativamente en las propiedades mecánicas y debe tenerse en cuenta en el cálculo. Para ello, las estructuras quedan asignadas a una de las clases de servicio:

- **Clase de servicio 1:** Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65 % unas pocas semanas al año. El contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico de la madera no excede el 12%.

- **Clase de servicio 2:** Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año. El contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico de la madera no excede el 20%.

- **Clase de servicio 3:** Condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad superiores al de la clase de servicio 2.

Para el caso que se está analizando se considera Clase 2 con media duración (hasta 6 meses) por lo que el factor  $k_{\text{mod}}$  es 0.80 (ver Tabla 2 [12]), y coeficiente de seguridad del material,  $\gamma_M = 1.3$  [17].

$$Sb_d = k_{\text{mod}} \frac{Sb}{\gamma_M} \quad (1)$$

Por lo tanto:

$$Sb = Sb_d \frac{\gamma_M}{k_{\text{mod}}} \quad (2)$$

**Tabla 2: Tabla de clase de duración y servicio**

Clase de duración de la carga	Clase de Servicio		
	1	2	3
Permanente	0.60	0.60	0.50
Larga duración	0.70	0.70	0.55
Media duración	0.80	0.80	0.65
Corta duración	0.90	0.90	0.70
Instantánea	1.10	1.10	0.90

Si una combinación de hipótesis consiste en varias acciones pertenecientes a diferentes clases de duración de la carga, el factor  $k_{\text{mod}}$  puede elegirse como el correspondiente a la acción de más corta duración. Por ejemplo, para la combinación del peso muerto más carga de corta duración,  $k_{\text{mod}}$  corresponderá a la carga de corta duración.

Este procedimiento permitió determinar un valor de Módulo a la Rotura,  $Sb = 156.7 \text{ Kg/cm}^2$ , valor mínimo que deben verificar el  $Sb_{5\%}$  de los lotes ofrecidos por los diferentes proveedores.

#### 4. CONCLUSIONES

a) Las propiedades mecánicas mas representativas de los paneles compensados para su utilización en bins para el transporte de jugos de frutas, son: el Módulo de Rotura ( $Sb$ ) y el Módulo de Elasticidad ( $E$ ).

b) Los ensayos mas apropiados para determinar dichas propiedades mecánicas son los especificados en la norma ASTM 3043.

- c) Los valores estadísticos mas apropiados para caracterizar dichas propiedades son los percentiles 5%:  $Sb_{5\%}$  y  $E_{5\%}$ . Los valores obtenidos mediante ensayos de los diferentes proveedores se pueden ver en la Tabla I.
- d) Se modelizaron paneles compensados en diferentes combinaciones de vínculos y cargas. La más desfavorable resulta de considerar al panel vinculado con flejes horizontales, sin flejes verticales y con los perfiles "L" en la base. Con respecto a la carga se consideró la carga hidrostática del jugo, más la carga lineal de estibamiento en el plano del panel. De esta modelización se extrae el valor de diseño  $Sb_d$ .
- e) El punto de máximas tensiones de diseño resulta el central del extremo superior. Las tensiones máximas son las horizontales y alcanzan un valor de  $Sb_d = 96.4 \text{ Kg/cm}^2$  en tracción.
- f) En el marco del Eurocódigo 5, la resistencia mínima de un panel debe ser  $Sb = 156.7 \text{ Kg/cm}^2$ .
- g) Este valor de  $Sb$  fué inferior al percentil 5% de todos los proveedores, salvo los obtenidos en ensayos de probetas transversales del Proveedor C. Los valores obtenidos en los ensayos de este último proveedor pueden no ser representativos por la escasa cantidad de muestra evaluada en ese momento.
- h) Los datos obtenidos demuestran que los valores percentiles de las placas se ajustan al cálculo teórico obtenido por modelización.
- i) Como requisito de resistencia ( $Sb$ ), se deberá exigir que el valor  $Sb_{5\%}$  obtenido de una muestra aleatoria sea mayor o igual a  $160 \text{ Kg/cm}^2$ .
- h) En estos momentos se está trabajando sobre el análisis de los requisitos a los proveedores respecto del módulo de elasticidad  $E$ , a través de la deformación del elemento de madera ( $\delta_d$ ) que debe ser inferior a una deformación especificada ( $\delta_{\text{especificada}}$ ).

## 5. REFERENCIAS

- [1] *Wood Handbook* Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory USDA Forest Service. Madison, Wisconsin. 1999.
- [2] APA .Containers and Bins. The Engineered Wood Association.1997.
- [3] APA. Collapsible Bin Design and Fabrication. The Engineered Wood Association.1997
- [4] APA .Plywood Design Specifications. The Engineered Wood Association. 1997
- [5] APA. Panel Design Specification. The Engineered Wood Association.2004.
- [6] PS1-95. Construction and Industrial Plywood. APA The Engineered Wood Association.1995
- [7] ASTM. D 3043 – 00<sup>e1</sup>. Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure. 2002.
- [8] UNE – EN- 1072. Descripción de las propiedades de flexión del tablero contrachapado de uso estructural. 1996
- [9] Zienkiewicz O.C, The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill.
- [10] Bathe K. J, Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice Hall.
- [11] Oñate E, Structural Analysis with the Finite Element Method. Linear Statics: Volume 2: Beams, Plates and Shells, Springer
- [12] Arriaga F., Peraza F, Characteristic values of mechanical properties of radiata pine plywood. 2001.
- [13] Finnish Forest industries Federation, Handbook of finnish plywood. Ed. Finnish Forest Industries Federation, Finland, 2000, 64 pp.
- [14] Rodica Sava. An analyse between the main physical-mechanical properties of thin plywood. "Transilvania" University of BRASOV, Departament of GDGT. Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VII (XVII), 2008
- A.Cárdenas, P.N. Manzione y E. Santarelli / Comportamiento Mecánico de *Bins* construidos con Paneles Compensados de Álamo

- [15] APA. Mechanical Properties Of Apa Structural Panels. Technical Topics. Form No. TT-044A .. The Engineered Wood Association. April 2005.
- [16] Curry W.T., Tory J.R. "The relation between the modulus of ruptura (ultimate bending stress) and modulus of elasticity of timber
- [17] Eurocódigo 5. Design of Timber Structure. European Commission on Standardization. 1996.
- [18] EN 313-1:1996 – Plywood – Classification and terminology – Part 1: Classification. Part 2: Terminology. 1996.
- [19] APA. Quality Assurance Policies for Structural - Use Panels Qualified for PRP-108. APA The Engineered Wood Association. 1997
- [20] APA. PS2-92. Performance Standard for Wood-Based Structural-Use Panels. The Engineered Wood Association. 1992.

### **Agradecimientos**

Los autores de este trabajo desean agradecer al Técnico Pedro Sosa quien colaboró activamente en la realización de los ensayos mecánicos y físicos de las muestras.