

Vigas compuestas de madera de sección Doble T y sección cajón para uso en viviendas (*)

Luis Leiva

Departamento de Ingeniería en Obras Civiles. Universidad Santiago de Chile

Resumen

En este trabajo se estudia el comportamiento estructural de vigas compuestas de madera con secciones tipo doble T y tipo cajón. En ambos casos las alas están conformadas por madera aserrada y el alma por tableros de madera (contrachapado y OSB). Se estudian distintas configuraciones de secciones considerando distintas alturas y materiales. Debido a su conformación geométrica, las vigas compuestas de madera presentan buenas propiedades estructurales con menos material que el utilizado en secciones llenas equivalentes. Se presenta el comportamiento estructural de vigas ensayadas a la flexión incluyendo las fallas típicas. Se entregan los valores obtenidos tanto de la capacidad de momento como la rigidez de las series estudiadas.

Abstract

In this paper we study the structural behavior of composite wooden beams with I-sections and rectangular hollow sections. In both cases, the flanges are made by lumber and the web by wood boards (plywood and OSB). Several sections are included considering different beam depths and materials. Due to its geometric shape, composite wooden beams show good structural properties with less material than the one used in an equivalent filled section. It presents the behavior of structural beams tested in bending including failure modes. The tested beam series are compared in terms of their moment capacity and stiffness. The design of I-sections beams from the experimental results is discussed.

Las vigas de madera de sección compuesta constituyen una alternativa de solución económica para la vivienda. Estas vigas pueden tener una sección en forma de cajón o de Doble T. Las vigas de sección compuesta resultan más económicas que secciones llenas de madera. Al tener estas secciones más material concentrado en las alas, que son los elementos que brindan resistencia a la flexión, se obtienen elementos optimizados desde el punto de vista estructural.

Debido a su conformación geométrica, las vigas compuestas de madera presentan buenas propiedades estructurales con menos material que el utilizado en secciones llenas equivalentes. En el alma de las vigas se pueden utilizar tableros de madera reconstituida como por ejemplo tableros de contrachapado o tablero de partículas orientadas OSB (Oriented Strand Board) (fotos 1a y 1b). Los tableros OSB, originalmente utilizados en embalajes, constituyen una de las alternativas más económicas existentes en el mercado.

Las vigas de madera de sección compuesta de madera, al utilizar menos material, son más livianas que las vigas de secciones llenas. Esto facilita su montaje en la etapa de construcción de la vivienda. La utilización de estas vigas en estructuras de entepiso y de techo se muestra en la foto 2.

(*) Este trabajo se enmarca en el desarrollo de componentes para la vivienda de la Acción XIV.8 "CASA-PARTES. Tecnología de Cimientos, Paredes, entepisos, Techos e Instalaciones (CIPETI)" del Programa CYTED.

Descriptores

Vigas compuestas de madera para uso en viviendas;
Vigas de sección doble T;
Vigas de sección cajón;
Comportamiento estructural de vigas ensayadas a la flexión.

Descriptors

Composite wooden beams for use in housing; I-section beams; rectangular hollow section beams; Structural behavior of tested beams to buckle

La construcción de estas vigas se puede realizar tanto por métodos industriales como por métodos artesanales en un taller de carpintería. Las vigas cajón se pueden materializar con uniones clavadas o encoladas entre el ala y las almas. Las vigas Doble T pueden realizarse mediante una ranura hecha en las alas en la cual se inserta el alma mediante una unión encolada o alternativamente mediante piezas de madera clavadas o encoladas en ambos lados del alma.

En este trabajo se reseñan los resultados de un programa de ensayos que se ha desarrollado en el Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Universidad de Santiago de Chile y que tiene como objetivo el estudio del comportamiento estructural de vigas de madera de sección transversal compuesta. En él se incluyen vigas compuestas de madera con secciones tipo Doble T y tipo cajón. En ambos casos las alas están conformadas por madera aserrada y el alma por tableros de madera.

Series de vigas ensayadas

Series ensayadas

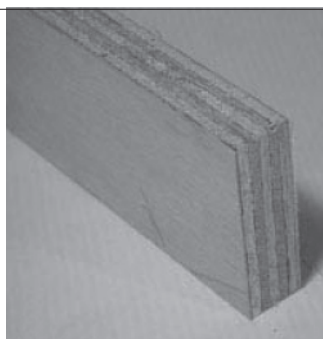
Las vigas con secciones Doble T y sección cajón se denominan como Serie T y Serie C, respectivamente.

En cada serie de ensayos se han considerado distintas dimensiones de la sección así como también distintas luces. La altura de las vigas ensayadas varía entre 24 cm y 40 cm. El ancho de alas varía entre 6,6 cm y 13,4 cm. Las luces de ensayo varían entre 220 cm y 600 cm. En los gráficos 1 y 2 se muestran las secciones correspondientes a las secciones Doble T y secciones cajón estudiadas. En el cuadro 1 se resumen las características geométricas de cada serie.

Especies madereras utilizadas

La especie maderera utilizada en las alas es pino radiata (*Pinus radiata*). Las alas están constituidas por piezas de madera aserrada (Series T1, T2, T3, T4, T6, C1, C2, C4, C5), madera laminada (Series T5 y C3) y madera micro laminada (Serie T7).

Foto1a
Tablero de Contrachapado



Fuente: Rotor DB

Foto 1b
Tablero OSB



Fuente: Trada, UK

Foto 2
Utilización de vigas compuestas de madera en viviendas

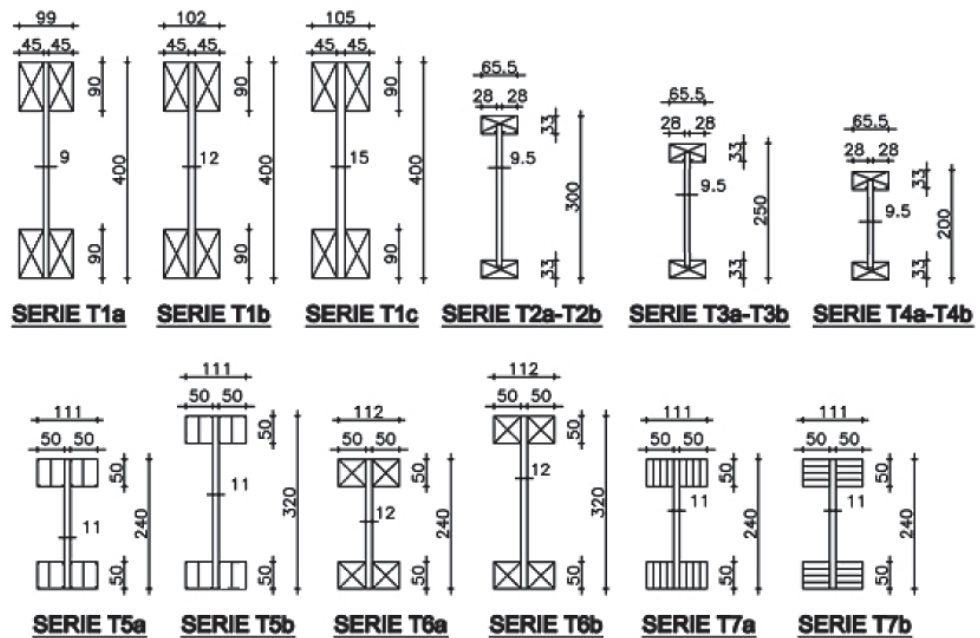


Fuente: LPChile

En el alma se ha utilizado tablero contrachapado de *pino radiata* (Series T6, C2) y tablero contrachapado de Coigüe, *Nothofagus dombeyi* (Series T1, C1) así como también tableros de OSB (Series T2, T3, T4, T5, T7, C3, C4 y C5).

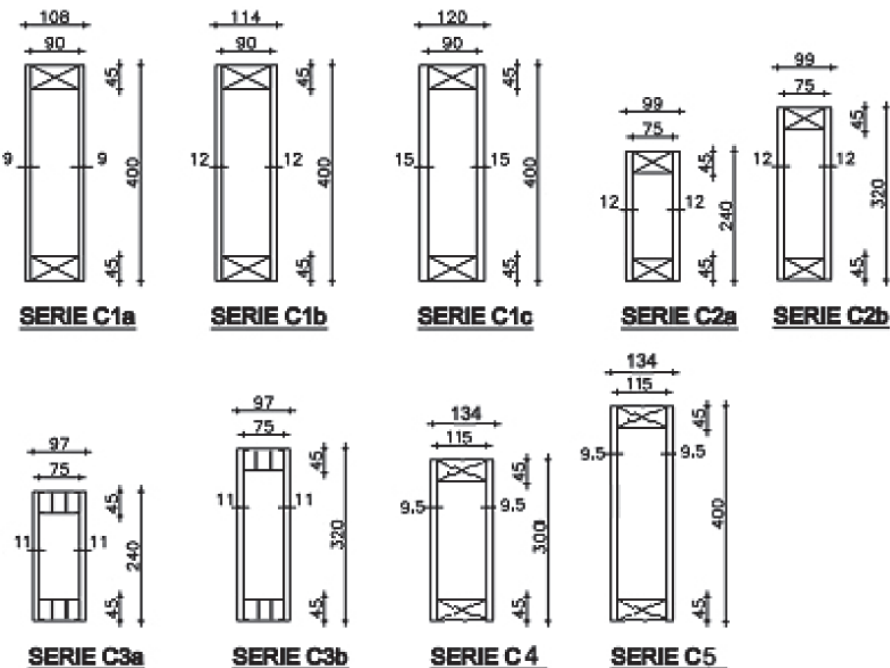
El pino *radiata* es una madera conífera, blanda y poco durable si no es protegida de la acción climática. Tiene crecimiento rápido y es la especie maderera más abundante actualmente en Chile. El coigüe es la madera nativa que más abunda en Chile. Es una madera latifoliada, semidura y se considera durable con relación a la acción climática. El tablero OSB está conformado por virutas de madera prensadas orientadas según el plano del tablero.

Gráfico 1
Sección Doble T
Series ensayadas



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2
Sección Cajón
Series ensayadas



Fuente: Elaboración propia.

Características especiales de cada serie

A continuación se entregan algunas características especiales de cada serie.

- Serie T1 (Ref. 1): Las alas se materializan con 2 piezas de largo de 320 cm y 160 cm, respectivamente. La disposición de las piezas del ala se alterna de forma que se cuenta con una unión de ala como máximo en la sección correspondiente de la viga. No hay sin embargo una unión mecánica entre las 2 piezas del ala. Se utilizó una unión clavada entre ala y alma. Se utilizaron clavos de 75 mm x 3,5 mm en doble fila en cada ala y espaciados a 10 cm. El alma está constituida por 2 tableros de 240 cm de largo. En los cuartos de

la longitud de la viga se dispusieron rigidizadores verticales (45 cm x 90 cm x 220 cm) entre las alas. Estos rigidizadores se colocan para evitar un posible pandeo del alma y para posibilitar una unión clavada del alma en el punto medio de la viga (gráfico 1).

- Series T2-T3-T4 (Ref. 2): Las alas están constituidas por varias piezas de madera aserrada unidas mediante uniones encoladas de tipo endentada (*finger-joint*). La unión ala-alma se materializa mediante una ranura biselada centrada en el alma en la cual se introduce el tablero de OSB. El adhesivo utilizado es Resorcinol Formaldehido tanto en la unión ala-alma como en las uniones endentadas a lo largo de las alas.

Cuadro 1
Series ensayadas, número de ensayos y mediciones

	N° ensayos	Materiales		Dimensiones sección					Dimensiones vigas			
		Ala	Alma	b (cm)	bf (cm)	hf (cm)	tw (cm)	h(cm)	Lt (cm)	L (cm)	a (cm)	
Sección Doble-T	Serie T1a	9	Pino Radiata	Contrachapado Coigüe	9,9	4,5	9,0	0,90	40	480	464	177
	Serie T1b	9			10,2	4,5	9,0	1,20	40	480	464	177
	Serie T1c	9			10,5	4,5	9,0	1,50	40	480	464	177
	Serie T2a	6	Pino Radiata	OSB	6,6	2,8	3,3	0,95	30	480	470	156
	Serie T2b	6			6,6	2,8	3,3	0,95	30	600	590	196
	Serie T3a	6	Pino Radiata	OSB	6,6	2,8	3,3	0,95	25	480	470	156
	Serie T3b	6			6,6	2,8	3,3	0,95	25	600	590	196
	Serie T4a	6	Pino Radiata	OSB	6,6	2,8	3,3	0,95	20	480	470	156
	Serie T4b	6			6,6	2,8	3,3	0,95	20	600	590	196
	Serie T5a	8	Pino Radiata	OSB	11,1	5,0	5,0	1,11	24	244	240	80
	Serie T5b	8			11,1	5,0	5,0	1,11	32	244	240	80
	Serie T6a	9	Pino Radiata	Contrachapado pino Radiata	11,2	5,0	5,0	1,20	24	244	240	80
	Serie T6b	9			11,2	5,0	5,0	1,20	32	244	240	80
	Serie T7a	6	Pino Radiata	OSB	11,1	5,0	5,0	1,11	24	224	220	70
Serie T7b	6	11,1			5,0	5,0	1,11	24	224	220	70	
Sección Cajón	Serie C1a	9	Pino Radiata	Contrachapado Coigüe	10,8	9,0	4,5	0,90	40	480	464	177
	Serie C1b	9			11,4	9,0	4,5	1,20	40	480	464	177
	Serie C1c	9			12,0	9,0	4,5	1,50	40	480	464	177
	Serie C2a	9	Pino Radiata	Contrachapado pino Radiata	9,9	7,5	4,0	1,20	24	244	240	80
	Serie C2b	9			9,9	7,5	4,0	1,20	32	244	240	80
	Serie C3a	8	Pino Radiata	OSB	9,7	7,5	4,0	1,11	24	244	240	80
	Serie C3b	8			9,7	7,5	4,0	1,11	32	244	240	80
	Serie C4	3	Pino Radiata	OSB	13,4	11,5	4,5	0,95	30	510	500	148
	Serie C5	3	Pino Radiata	OSB	13,4	11,5	4,5	0,95	40	610	600	208

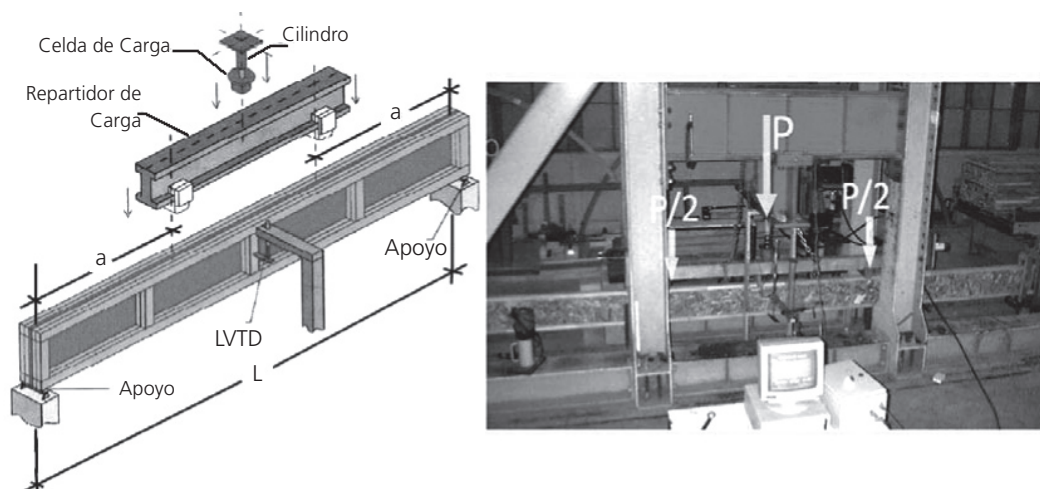
Fuente: Elaboración propia

- Serie T5 (Ref. 3): Las alas están compuestas por madera laminada verticalmente con láminas de 25 mm de ancho. En los cuartos de la longitud de la viga se dispusieron rigidizadores verticales entre las alas 50 cm x 50 cm x 140 cm y 50 cm x 50 cm x 220 cm para las series T5a y T5b respectivamente. Todas las uniones se realizaron como uniones encoladas utilizando como adhesivo Resorcinol Formaldehido.
- Serie T6 (Ref. 4): La unión ala-alma se materializó con adhesivo Resorcinol Formaldehido y con una unión clavada utilizando clavos en dos líneas cada 10 cm.
- Serie T7 (Ref. 5): Las alas se materializan con madera microlaminada con láminas de 5 mm de espesor unidas mediante una unión encolada. Se utiliza Urea Formaldehido como adhesivo. Se utilizaron rigidizadores sólo en los apoyos.
- Serie C1 (Ref. 1): Las alas se materializan con 2 piezas de largo 320 cm y 160 cm, respectivamente, con características similares a las descritas en la serie T1. Se utilizó una unión clavada entre ala y alma. Se utilizaron clavos de 75 mm x 3,5 mm en una fila en cada ala y espaciados a 7,5 cm. En los cuartos de la longitud de la viga se dispusieron rigidizadores verticales (45 cm x 90 cm x 310 cm) entre las alas.
- Serie C2 (Ref. 4): En la unión ala-alma se utilizó adhesivo Resorcinol Formaldehido junto a una unión clavada.
- Serie C3 (Ref. 3): Las características de estas vigas son similares a las correspondientes a la serie T5. En los cuartos de la longitud de la viga se dispusieron rigidizadores verticales entre las alas 40 cm x 75 cm x 160 cm y 40 cm x 75 cm x 240 cm para las series T5a y T5b respectivamente.
- Serie C4 - C5 (Ref. 6): Las alas se formaron con piezas unidas con uniones endentadas con adhesivo Resorcinol Formaldehido. La unión ala-alma se materializó con clavos en una línea espaciados a 50 mm y con adhesivo PVA (acetato de polivinilo).

Estudio experimental

Los ensayos de flexión se realizaron con las vigas solicitadas por 2 cargas puntuales ubicadas en forma simétrica con el objeto de obtener una zona central con momento flector máximo constante y corte nulo (gráfico 3). Las vigas fueron arriostradas lateralmente para evitar el pandeo lateral torsional. La carga, aplicada en el punto medio de la viga, se reparte en 2 puntos de carga a través de una viga secundaria. En cada ensayo se registró la carga aplicada y la deformación en el punto central de la luz. La longitud total de las vigas ensayadas (L_t), y la luz entre apoyos (L) consideradas en cada ensayo se indican en el cuadro 1 así como también el número de ensayos correspondientes a cada serie.

Gráfico 3
Disposición del ensayo de flexión



Fuente: Bernuy, Moffet (2003)

Cuadro 2
Cargas de Ruptura. Momentos de Ruptura

		Carga de Ruptura (kgf)			Momento de Ruptura (kgf cm)		
		Pmín	Pmáx	Pprom	Mmín	Mmáx	Mprom
Sección Doble-T	Serie T1a	2.879,6	3.927,9	3.328,4	254.845	347.619	294.563
	Serie T1b	2.912,5	3.921,4	3.481,7	257.756	347.044	308.130
	Serie T1c	3.050,0	4.435,7	3.702,2	269.925	392.559	327.645
	Serie T2a	630,0	1.288,9	900,5	49.143	100.533	70.242
	Serie T2b	497,7	1.126,7	897,6	48.774	110.413	87.963
	Serie T3a	517,9	854,3	622,2	40.399	66.632	48.531
	Serie T3b	403,2	865,5	565,6	39.516	84.816	64.342
	Serie T4a	403,2	686,1	554,6	21.451	53.515	43.258
	Serie T4b	574,0	977,6	730,2	56.251	95.802	71.559
	Serie T5a	3.243,4	5.244,8	3.993,9	129.737	209.790	159.754
	Serie T5b	4.904,5	6.277,1	5.594,8	196.182	251.082	223.790
	Serie T6a	2.683,0	3.603,6	3.198,8	107.320	144.144	127.951
	Serie T6b	3.659,3	613,0	4.852,5	146.372	244.520	194.099
	Serie T7a	3.279,5	6.878,2	4.133,3	114.783	240.737	144.666
Serie T7b	3.170,3	7.889,7	4.818,6	110.961	276.140	168.651	
Sección Cajón	Serie C1a	1.611,8	2.322,7	1.945,0	142.644	205.559	172.133
	Serie C1b	1.461,1	2.620,8	2.115,0	129.307	231.941	187.178
	Serie C1c	1.926,3	3.387,4	2.684,0	170.478	299.785	237.534
	Serie C2a	3.475,8	5.002,5	4.095,0	139.032	200.100	163.800
	Serie C2b	5.025,4	7.773,9	6.090,8	201.016	310.956	243.632
	Serie C3a	3.696,6	7.351,8	4.679,6	147.862	294.071	187.182
	Serie C3b	5.699,9	7.516,4	6.747,8	227.994	300.655	269.910
	Serie C4	2.691,0	4.745,0	4.096,0	199.134	351.130	303.104
	Serie C5	3.960,0	5.055,0	4.542,0	411.840	525.720	472.368

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de los ensayos

Resistencia de las vigas ensayadas

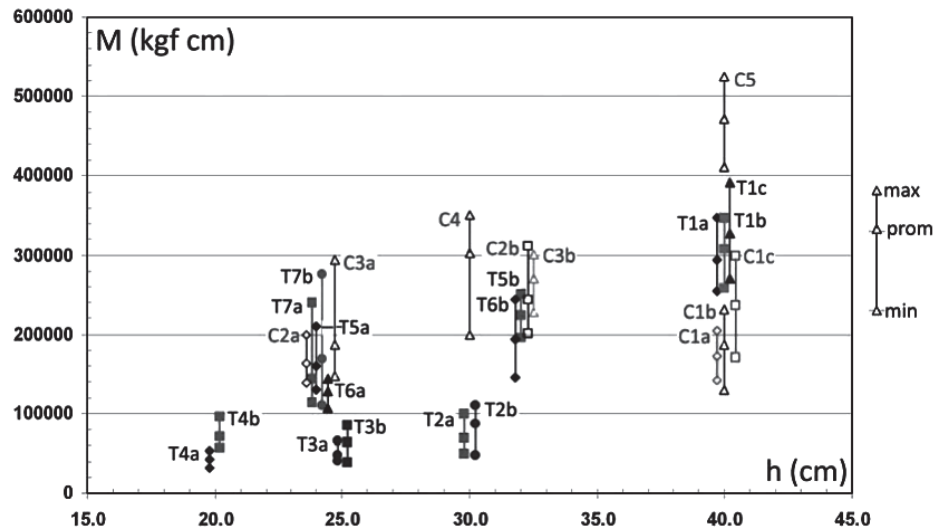
En el cuadro 2 se entregan las cargas de ruptura obtenidas, a partir de las cuales se puede calcular la capacidad de momento de la viga. Debido a que las vigas fueron ensayadas con distintas secciones y distintas luces, las resistencias obtenidas pueden ser comparadas en términos de la capacidad de momento de cada viga. Estas

capacidades son incluidas en este cuadro como momentos de ruptura.

En el gráfico 4 se muestran los momentos de ruptura obtenidos para cada serie en función de la altura de la sección. El rango de variación de los resultados para cada serie está representado por 3 puntos que muestran el valor máximo, el valor promedio y el valor mínimo obtenido.

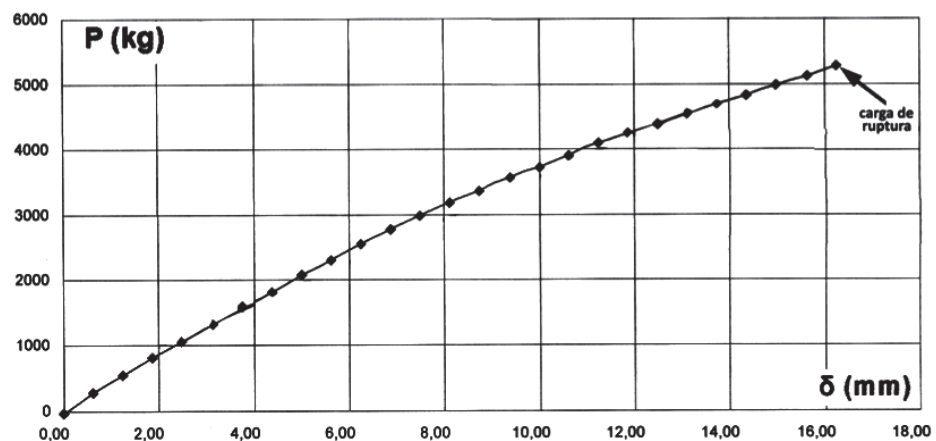
Los resultados del gráfico 4 expresan valores esperados cuando las vigas de mayor sección muestran mayor

Gráfico 4
Series T, Vigas de
sección Doble T
y Series C,
Vigas de sección Cajón.
Momentos de ruptura



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5
Curva de ensayo típica.
Serie T5



Fuente: Bernuy, Moffet (2003).

capacidad de momento. Se alejan de esta tendencia mostrando valores menores que los esperados los resultados obtenidos para las series T2 y T3. En las probetas de estas series se presentó una falla prematura en la unión endentada en el ala traccionada. Las curvas carga-deformación obtenidas presentan un comportamiento lineal hasta niveles cercanos a la carga última de rotura. El gráfico 5 ofrece una curva de ensayo típica.

Modos de falla

Los modos de falla típicos para cada serie se indican en el cuadro 3. Se confirma la ocurrencia de fallas frágiles típicas de elementos estructurales de madera. En general la falla más recurrente es por tracción debido a la flexión del ala inferior de la viga (foto 3). Sin embargo, en las series

T5, T6 y T7, en las cuales se tienen secciones Doble T con luces cortas, la falla típica es por corte en el alma.

En la zona vecina a los apoyos se presenta la falla diagonal que caracteriza la falla por corte (foto 4). Este tipo de falla no se presenta en vigas de sección cajón que cuentan con un alma doble.

Evaluación de las rigideces de las vigas compuestas

Cuando se analizan vigas compuestas de distintos materiales (distintos módulos de elasticidad) se cuenta con diversos métodos teóricos para evaluar el aporte de cada material a la rigidez de la sección. Al efectuar dicho análisis se debe considerar el grado de colaboración (parcial o total) entre los materiales componentes.

Cuadro 3 Modos de falla típicos	Serie T1	Serie T2	Serie T3	Serie T4	Serie T5	Serie T6	Serie T7	Serie C1	Serie C2	Serie C3	Serie C4	Serie C5
Falla del alma en la zona de discontinuidad del ala	X											
Falla del ala traccionada	X					X		X	X	X	X	X
Falla de unión endentada en ala traccionada		X	X	X								
Falla diagonal por corte en el alma					X	X	X					

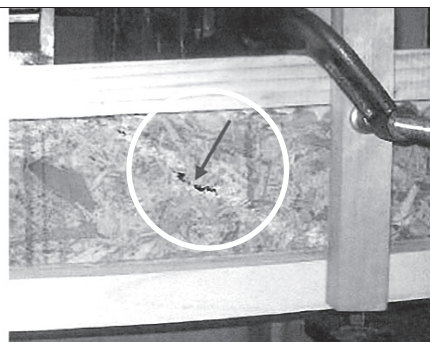
Fuente: Elaboración propia.

Foto 3
Falla por tracción
en ala inferior



Fuente: Astorga y San Martin (2004).

Foto 4
Falla por corte
en el alma



Fuente: Astorga y San Martin (2004).

Debido a que las vigas ensayadas muestran un comportamiento lineal característico hasta niveles cercanos a la carga de rotura (gráfico 5) se puede obtener un valor de la rigidez experimental a partir de la curva carga-deformación de cada ensayo. Este valor representa la rigidez real de la viga e incluye tanto la influencia del ala y alma con sus correspondientes dimensiones y módulos de elasticidad y el grado de colaboración real existente en la sección.

La rigidez experimental, (EI) exp, se puede evaluar con la expresión:

$$(EI)_{exp} = \frac{(P/2) a}{24 \delta} (3 L^2 - 4 a^2)$$

En esta expresión, la carga P y la deformación pueden elegirse en cualquier punto de la zona lineal de la curva P- obtenida de los ensayos.

En el gráfico 6 se muestran los valores de rigidez promedios obtenidos para las series correspondientes a las vigas compuestas de sección Doble T y sección cajón. A partir de las rigideces experimentales obtenidas, (EI)exp, es posible calcular las deformaciones por flexión bajo distintos estados de carga, ver el ejemplo de diseño en el punto siguiente.

Diseño de vigas compuestas

Con las capacidades de momento obtenidas (Momentos de Ruptura) se puede diseñar vigas del tipo estudiadas. A modo de ejemplo, tomando como criterio utilizar un Factor de Seguridad (FS) igual 2 con respecto a los valores promedio de momento obtenidos, se obtiene un Momento de Diseño.

Luego, la carga admisible Q adm (kgf/m) se puede calcular con la expresión:

$$Q_{adm} = 8xM_{diseño} / L^2$$

Esta fórmula es válida para una viga con apoyos simples. Los valores que se obtienen para todas las series, con luces que varían entre 2m y 6m, se entregan el cuadro 4.

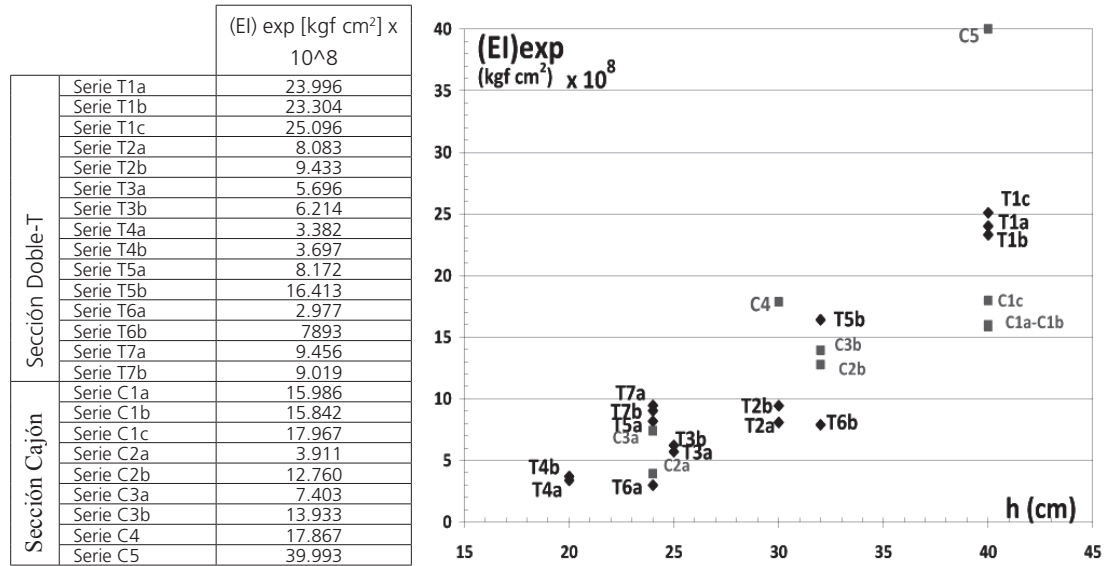
Ejemplo de diseño:

Se requiere soportar una carga de 300 kg/m² con vigas espaciadas a 80 cm conj una luz de 3 m.

La carga requerida por unidad de longitud es:

$$Q_{req} = 300 \times 0,8 = 240 \text{ kg/m}^2$$

Gráfico 6
Series ensayadas. Rigidez experimental (EI)exp. Valores promedio para cada serie



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4
Cargas admisibles considerando un Factor de Seguridad = 2 con respecto a la capacidad de carga promedio de cada serie

	Momento de Ruptura (kgf cm)	Q adm (kg/m)												
		M mín	M máx	M prom	M diseño (kgf cm)	L (m)								
						2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Sección Doble-T	Serie T1a	254.845	347.619	294.563	147.282	2.946	1.885	1.309	962	736	582	471	390	327
	Serie T1b	257.756	347.044	308.130	154.065	3.081	1.972	1.369	1.006	770	609	493	407	342
	Serie T1c	269.925	392.559	327.645	163.822	3.276	2.097	1.456	1.070	819	647	524	433	364
	Serie T2a	49.143	100.533	70.242	35.121	702	450	312	229	176	139	112	93	78
	Serie T2b	48.774	110.413	87.963	43.981	880	563	391	287	220	174	141	116	98
	Serie T3a	40.399	66.632	48.531	24.265	485	311	216	158	121	96	78	64	54
	Serie T3b	39.516	84.816	64.342	32.171	643	412	286	210	161	127	103	85	71
	Serie T4a	21.451	53.515	43.258	21.629	433	277	192	141	108	85	69	57	48
	Serie T4b	56.251	95.802	71.559	35.779	716	458	318	234	179	141	114	95	80
	Serie T5a	129.737	209.790	159.754	79.877	1.598	1.022	710	522	399	316	256	211	178
Serie T5b	196.182	251.082	223.790	111.895	2.238	1.432	995	731	559	442	358	296	249	
Serie T6a	107.320	144.144	127.951	63.975	1.280	819	569	418	320	253	205	169	142	
Serie T6b	146.372	244.520	194.099	97.050	1.941	1.242	863	634	485	383	311	257	216	
Serie T7a	114.783	240.737	144.666	72.333	1.447	926	643	472	362	286	231	191	161	
Serie T7b	110.961	276.140	168.651	84.326	1.687	1.079	750	551	422	333	270	223	187	
Sección Cajón	Serie C1a	142.644	205.559	172.133	86.066	1.721	1.102	765	562	430	340	275	228	191
	Serie C1b	129.307	231.941	187.178	93.589	1.872	1.198	832	611	468	370	299	248	208
	Serie C1c	170.478	299.785	237.534	118.767	2.375	1.520	1.056	776	594	469	380	314	264
	Serie C2a	139.032	200.100	163.800	81.900	1.638	1.048	728	535	410	324	262	217	182
	Serie C2b	201.016	310.956	243.632	121.816	2.436	1.559	1.083	796	609	481	390	322	271
	Serie C3a	147.862	294.071	187.182	93.591	1.872	1.198	832	611	468	370	299	248	208
	Serie C3b	227.994	300.655	269.910	134.955	2.699	1.727	1.200	881	675	533	432	357	300
	Serie C4	199.134	351.130	303.104	151.552	3.031	1.940	1.347	990	758	599	485	401	337
	Serie C5	411.840	525.720	472.368	236.184	4.724	3.023	2.099	1.542	1.181	933	756	625	525

Fuente: Elaboración propia

Esto significa que se puede usar una sección de las series estudiadas hasta una luz entre apoyos que tenga una carga admisible igual o superior a 240 kg/m². Si la luz es 3 m se puede elegir, por ejemplo, la sección correspondiente a la serie T3b que tiene una carga admisible $Q_{adm} = 286 \text{ kg/m}^2$.

La deformación de la viga se puede calcular con la ayuda del cuadro incluido en el gráfico 6.

La deformación máxima para una viga con apoyo simple y una carga uniformemente repartida se calcula con la expresión:

$$\Delta_{max} = 5 * Q * L^4 / (384 EI)$$

Con $Q = 2,4 \text{ kg/cm}$, $L = 300 \text{ cm}$, $EI_{exp} = 6.214 * 10^8$ se obtiene una deformación $\Delta_{max} = 0,41 \text{ cm}$, menor que una deformación admisible de $L/300 = 1 \text{ cm}$, por lo tanto el diseño está correcto.

Conclusiones

La capacidad de las vigas de sección compuesta estudiadas está determinada en la mayoría de los casos por la resistencia a la tracción del ala inferior. Las uniones en dichas alas deben entonces ser bien ejecutadas, de lo contrario se constituyen en el punto crítico que determina la resistencia global de las vigas.

Sin embargo, en secciones Doble T de luces cortas (220 cm -240 cm) la falla se produce por corte antes que por flexión. Utilizar en estos casos un alma de mayor espesor o con mejores propiedades mecánicas permitiría aprovechar la capacidad real de las secciones de estas vigas.

Los ensayos realizados han permitido evaluar la capacidad a la flexión de las vigas en estudio. También se han obtenido valores de las rigideces reales de estas vigas. Contemplando un factor de seguridad adecuado, con los valores experimentales obtenidos tanto para la capacidad de momento como para las rigideces, es posible diseñar vigas que cuenten con las dimensiones y materiales utilizados en este estudio considerando otras condiciones de carga y de apoyo.

Referencias bibliográficas

- Astorga, C.; San Martín, C. (2004) Análisis Teórico Experimental Comparativo Entre Vigas Estructurales de Madera de Pino Radiata y Vigas Compuestas Tipo Doble T. *Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles*. Dpto. de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de Santiago de Chile.
- Bernuy, P.; Moffett, H. (2003) Estudio Teórico Experimental de vigas Cajón y Doble T de *Madera Laminada y Tableros OSB*. Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Dpto. de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de Santiago de Chile.
- Caballero, E.; San Martín, H. (2004) Vigas Sección Cajón de Alma Discontinua Compuestas de Madera Aserrada y Tablero OSB. Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Dpto. de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de Santiago de Chile.
- Garrido, A.; Soto, C. (2006) Estudio Teórico Experimental de Vigas Compuestas Tipo Doble T de Madera Microlaminada y Tableros OSB. Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Dpto. de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de Santiago de Chile.
- Guerrero, E.; Hernández, J. (1994) Estudio Teórico Experimental de Vigas Sección Doble T y Cajón de Madera Aserrada y Contrachapado. Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Dpto. de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de Santiago de Chile.
- Morales, M.; Yagui, J. (1994) Estudio Teórico Experimental de Vigas: Madera Aserrada- Contrachapado de Sección Cajón y Doble T. Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Dpto. de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de Santiago de Chile.