

Estudio de maderas y de perfiles de madera laminada encolada

JESUS BARRIOS, DR EN CIENCIAS QUIMICAS
JORGE POLO VELASCO, ARQUITECTO TÉCNICO
ANGELA BARRIOS PADURA, ESTUDIANTE ARQUITECTURA

RESUMEN. *El artículo aborda el resurgimiento de la madera como elemento constructivo, en parte gracias a la utilización de perfiles de madera encolada. Los ensayos realizados dan muestra de ellos, si bien siempre son necesarios los controles intensivos, por la heterogeneidad de la madera, y la utilización de coeficientes de seguridad adecuados que eviten patologías estructurales.*

SUMMARY. *The article faces the resurgences of wood as a constructive element, partially thanks to the utilization of glue wooden profiles.*

The trials that have been made, show it, although the intensive controls are always necessary, because of the heterogeneity of wood and the use of right security coefficients to avoid structural pathologies.

INDICE GENERAL

1. Introducción 2. Ensayos realizados en madera 3. Ensayos a la madera laminada encolada

1. INTRODUCCION

La madera ha sido uno de los materiales más utilizadas como elemento constructivo hasta finales del pasado siglo y comienzo del presente. Su empleo como tal fue progresivamente desplazado por el hormigón y el acero fundamentalmente. Las causas, como es bien sabido, son la durabilidad y la falta de respuesta a los problemas estructurales que las nuevas construcciones demandaban.

En los últimos años estamos asistiendo a un resurgir de la madera como elemento estructural, al haber desaparecido el grado de incertidumbre anterior a la utilización de perfiles de madera laminada encolada. Puede decirse por tanto que la madera empieza a recuperar un papel importan-

te en la construcción una vez resueltos los problemas estructurales y de durabilidad.

En este trabajo se estudia una construcción cuya estructura se realiza a base de perfiles de madera laminada encolada. Se ha procedido a realizar una serie de ensayos que determinen las propiedades físico - mecánicas de la madera empleada, y las de los perfiles con ella fabricados, con el fin de detectar posibles defectos estructurales.

En esencia se han estudiado:

- Las propiedades mecánicas de la madera a partir de muestras tomadas exentas de defectos de los perfiles.

- Las propiedades mecánicas de la madera a partir de piezas laminadas con el nivel de defectos correspondientes a la clasificación de la madera según la norma francesa NFB-52001.

2. ENSAYOS REALIZADOS A LA MADERA

Se han realizado como ya se ha indicado sobre muestras tomadas de los listones o láminas que conforman los perfiles. Antes de realizar los ensayos se determinó la humedad y densidad. La primera ha dado valores comprendidos entre 10.5 % y 11 %, la segunda ha dado valores entre 0,55 y 0,57 gr/c.c.

2.1 Ensayos a compresión

Se trata de realizar la rotura a compresión de la probeta sin pandeo. Para ello la UNE 56.535 propone probetas prismáticas 2x2x6 cm., es decir, con una esbeltez de 3.

Para la ejecución del ensayo se han fabricado probetas 4x4x12, manteniendo la misma esbeltez. Se han considerado mayores dimensiones para asumir de esta forma la heterogeneidad del material por la presencia de nudos u otros defectos.

Se colocan las probetas en una prensa universal de ensayos, disponiéndolas de forma que la dirección longitudinal de las fibras sean perpendiculares a los platos, es decir, el esfuerzo paralelo a las fibras.

Se aplica para ello una carga a velocidad uniforme hasta que se produzca la rotura.

Se han utilizado tres clases de probetas en este ensayo de resistencia a compresión:

- Probetas de madera sin encolar (6 unidades).
- Probetas con unión encolada (4 unidades)
- Probetas con unión encoladas sumergidas previamente en agua a 60° C durante dos horas.

Los resultados obtenidos en estos ensayos se indican en los cuadros 1, 2, y 3 respectivamente.

2.2 Ensayos a tracción

Se trata de conocer la resistencia a tracción de la madera en dirección longitudinal de las fibras. No se ha seguido el ensayo previsto en la UNE 56.538, por cuanto el objetivo marcado es el de obtener la resistencia a tracción perpendicular a las fibras.

Por ello se han tallado probetas prismáticas con una considerable disminución de sección en la zona central (al igual que se hace con los perfiles de acero cuando se confeccionan las probetas para el ensayo a tracción).

Estas probetas se disponen en una prensa de tracción, cogidas por la zona de mayor sección, de manera que quede la dirección longitudinal de las fibras perpendiculares a las mordazas, es decir, el esfuerzo paralelo a las fibras.

La máquina de ensayos está provisto de un registrador gráfico de tensiones y deformaciones, útil para determinar el límite de proporcionali-

Cuadro nº 1 COMPRESION AXIAL EN PROBETAS DE MADERA SIN ENCOLAR				
Probeta nº	S cm ²	Cr Kp	Rc Kp/cm ²	Observaciones
1	15.935	6.670	419	Tensión mín. Rotura por nudo
2	16.023	7.900	493	-
3	15.952	8.020	503	-
4	15.935	9.000	564	Tensión máx.
5	15.978	8.050	504	-
6	16.174	7.290	451	-
MEDIA	-	-	489	-

Cuadro nº 2 COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS CON UNION ENCOLADA				
Probeta nº	S cm ²	Q Kp	Rc Kp/cm ²	Observaciones
7	15.787	7.150	453	Tensión mín.
8	15.972	8.140	509	Tensión máx.
9	15.996	7.720	483	-
10	15.839	7.730	488	Rotura de nudo
MEDIA	-	-	483	-

Cuadro nº 3 COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS CON UNION ENCOLADA SUMERGIDAS PREVIA- MENTE EN AGUA A 60° C DURANTE 2 HORAS				
Probeta nº	S cm ²	Q Kp	Rc Kp/cm ²	Observaciones
11	16072	4130	257	Tensión máx.
12	15968	3820	239	Tensión mín.
13	15971	3830	240	-
MEDIA	-	-	245	-

dad. Por tratarse de valores pequeños no ha sido posible la determinación del Módulo de Elasticidad (E).

La velocidad de carga ha sido constante con un valor de 400 Kp por minuto.

Se han utilizado dos clases de probetas en este ensayo de resistencia a tracción:

- Probetas de madera sin encolar (6 unidades).
- Probetas con unión encolada en el centro (4 unidades).

Los resultados obtenidos en estos ensayos se indican en los cuadros 4 y 5, respectivamente.

2.3 Ensayos a flexión estática

Este ensayo tiene como objeto determinar la resistencia a flexión estática de una madera al aplicar una carga central en la parte superior, estando apoyada la probeta en sus extremos. La rotura se debe producir en la zona traccionada.

Las probetas ensayadas son de $2 \times 2 \times 32$ cm, siendo la separación entre apoyos de 28 cm. (como indican algunos autores, entre ellos, el Dr. D. Ramón Argüelles).

La resistencia a flexión se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{3 \times P \times l}{2 \times b \times h^2}$$

siendo:

σ = resistencia a flexión estática (Kp/cm²)

P= carga de rotura (Kp)

l = luz de ensayo (cm)

b y h = sección de la probeta (cm)

Una vez fabricadas las probetas se colocan en una prensa universal de ensayos, apoyadas en sus extremos con la dirección de las fibras paralelas a la longitud mayor de la probeta, y su cara radial hacia arriba.

La carga se aplica en el centro de la luz con una velocidad constante de 5 mm. por minuto hasta rotura.

Durante el ensayo se han determinado las deformaciones (flechas), para así poder determinar el Módulo de Elasticidad, según

$$E = \frac{P \times l^3}{4 \times f \times b \times h^3}$$

siendo:

E = Módulo de elasticidad (Kp/cm²)

f = flecha instantánea (cm)

b y h = sección de la probeta (cm)

Los resultados obtenidos se indican en el cuadro número 6.

Cuadro nº 4				
TRACCION PARALELA A LAS FIBRAS EN PROBETAS DE MADERA SIN ENCOLAR				
Probeta nº	S cm ²	Q Kp	Rt Kp/cm ²	Observaciones
1	4.268	2.390	560 (máx.)	Límite de proporc. y chasquidos aparecen a 1080 Kp
2	4.267	1.650	387	Límite de proporc. y chasquidos aparecen a 1040 Kp
3	4.272	1.290	302 (mín.)	La rotura se produce por un nudo
4	4.446	2.441	549	Límite de proporc. y chasquidos aparecen a 990 Kp
5	4.352	2.140	492	Límite de proporc. y chasquidos aparecen a 990 Kp
6	4.418	2.020	457	Límite de proporc. y chasquidos aparecen a 1080 Kp
MEDIA	—	—	489	Límite de proporcionalidad media: 238 Kp/cm ²

Cuadro nº 5				
TRACCION PARALELA A LAS FIBRAS EN PROBETAS DE MADERA CON UNION ENCOLADA EN EL CENTRO				
Probeta nº	S cm ²	Q Kp	Rt Kp/cm ²	Observaciones
1	4.170	1.280	306 (mín.)	Límite de proporcionalidad 970 kp. Rotura por la unión
2	4.382	1.620	370	Límite de proporcionalidad 940 kp. Rotura por la unión
3	4.272	2.020	484 (máx.)	Límite de proporcionalidad 960 kp. Rotura por la unión
4	4.446	1.440	320	Límite de proporcionalidad 960 Kp. Rotura por la unión
MEDIA	—	—	370	Límite de proporcionalidad media: 199 Kp/cm ²

Cuadro nº 6 RESISTENCIA A FLEXION						
Probeta nº	l cm ²	W cm ²	Q Kp	M cm×Kp	σf Kp/cm ²	E Kp/cm ²
1	28	1,24	98	686	553,22	70.722
2	28	1,23	124	868	709,69 (máx.)	76.222
3	28	1,23	123	861	700,00	79.459
4	28	1,24	92	644	519,35	71.188
5	28	1,28	80	560	437,50 (mín.)	63.520 (mín.)
6	28	1,24	103	721	581,45	82.650 (máx.)
MEDIA	-	-	-	-	584	73.960

Cuadro nº 7 CORTADURA DOBLE EN PROBETAS DE MADERA ENCOLADA A TEMPERATURA HUMEDAD AMBIENTES				
Probeta nº	S cm ²	2×S cm ²	Q Kp	C Kp/cm ²
1	86,54	173,03	9640	55,7 (mín.)
2	86,69	173,38	1810	79,6 (máx.)
3	85,85	171,70	13310	77,5
4	85,33	170,65	10680	62,5
MEDIA	-	-	-	68,85

Cuadro nº 8 CORTADURA DOBLE EN PROBETAS DE MADERA ENCOLADA DESPUES DE SUMERGI- DAS EN AGUA A 60° C DURANTE 2 HORAS				
Probeta nº	S cm ²	2×S cm ²	Q Kp	C Kp/cm ²
1	88,37	176,74	9500	53,75 (mín.)
2	87,83	175,66	8850	50,38 (máx.)
MEDIA	-	-	-	52,07

2.4 Ensayos de cortadura doble

Con este ensayo se trata de determinar la resistencia de las líneas de adhesivo a la cortadura al dividir la carga máxima por el área de los planos adheridos.

Para el ensayo se han fabricado probetas en forma de Y las cuales tienen dos planos con adhesivo.

Cuadro nº 9 CORTADURA EN PROBETAS DE MADERA ENCOLADA DESPUES DE LA INMERSION EN AGUA				
Probeta nº	S cm ²	Q Kp	Rc Kp/cm ²	Observaciones
1	84,2	2.605	30,9	Rotura cola parcial
2	84,3	3.310	39,3 (máx.)	Rotura cola parcial
3	84,4	3.204	38,0	Rotura por cola
4	84,3	4.194	37,8	Rotura por cola parcial
5	83,8	2.808	33,5	Rotura por cola
6	84,0	2.575	30,7 (mín.)	Rotura por cola
MEDIA	-	-	35	-

Estas probetas se disponen en una prensa universal, aplicando una carga de compresión, de tal manera que la dirección de las fibras sea paralela a los esfuerzos.

Se han utilizado dos tipos de probetas en este ensayo de resistencia a cortadura doble:

a) Probetas de de madera encolada a temperatura y humedad ambiente (4 unid.).

b) Probetas de madera encolada sumergidas previamente en agua a 60° C durante dos horas (2 unid.).

Los resultados obtenidos se indican en los cuadros números 7 y 8 respectivamente.

2.5 Determinación de la resistencia a cortadura de las líneas de adhesivos

Se trata de determinar la resistencia de las líneas de adhesivo a la cortadura como resultado de divi-

Cuadro nº 10
CORTADURA EN PROBETAS DE MADERA ENCOLADA A TEMPERATURA AMBIENTE

Probeta nº	S cm ²	Q Kp	Rt Kp/cm ²	Observaciones
1	57,0	5600	98,3 (máx.)	Rotura cola parcial
2	57,8	5445	94,2	Rotura cola parcial
3	56,9	5500	96,5	Rotura por cola
4	57,6	4800	83,3 mín.	Rotura cola
MEDIA	-	-	93	-

dir la fuerza máxima por el área de contacto.

Para la realización del presente ensayo se ha seguido la norma UNE 56777 (parte 1 y 2).

En este caso se colocan las probetas en la prensa universal y se aplica una carga a compresión.

La dirección de las fibras se dispone paralela a los esfuerzos.

Se han utilizado dos tipos de probetas en este ensayo de resistencia de las líneas de adhesivos:

a) Probetas de madera encolada después de inmersión en agua (6 unidades).

b) Probetas de madera encolada a temperatura ambiente.

Los resultados obtenidos se indican en los cuadros números 9 y 10, respectivamente.

3. ENSAYOS A LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Se realizan ensayos de flexión a diversos perfiles realizados con madera laminada encolada. Con ello se pretende determinar las características mecánicas, que permiten establecer criterios comparativos.

3.1 Ensayos a flexión d diversos perfiles

Tiene como objeto determinar la resistencia a flexión del elemento al aplicar unas cargas en la parte superior. Para ello se ha empleado un gran pórtico de ensayos con una capacidad de carga de hasta 150 toneladas.

En este caso la rotura debe producirse en la zona traccionada del elemento. Para conocer la resistencia se aplicará la fórmula:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

siendo:

σ = resistencia a flexión (Kp/cm²)

M = momento flector (m x kp)

W = Módulo resistente $bh^2/6$ (cm³)

b y h = sección del perfil (cm)

Los elementos a ensayar se colocan en el pórtico de ensayo, apoyados en sus extremos de forma que se permita el libre giro de éstos. La carga se aplica en dos puntos en la cara superior, mediante un dispositivo de ensayo sobre el que actúa un cilindro hidráulico accionado y regulado mediante la correspondiente bomba hidráulica. La fuerza total ejercida por dicho cilindro hidráulico sobre el dispositivo citado se mide mediante una célula de carga, por lo que la carga que indica dicha célula es la suma de las dos aplicadas sobre el elemento ensayado.

3.2 Ensayo de la viga

La pieza ensayada está conformada por 23 listones encolados, con una altura h = 98 cm. y ancho b = 13.5 cm.

Las condiciones del ensayo son las que se indican en la figura número 1.

Los resultados obtenidos se indican a continuación y en el cuadro número 11.

$$M = \frac{P}{2} \times 3,6 = 1,8 P \text{ m} \cdot \text{Kp}$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{13,5 \times 98^2}{6} = 21.609 \text{ cm}^3$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{13,5 \times 98^3}{12} = 1.058.841 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{P \times a}{48 \times E \times I} (3 l^2 - 4 a^2)$$

$$E = \frac{P \times a}{48 \times f \times I} (3 l^2 - 4 a^2) = 57.000 \text{ Kp} / \text{cm}^2$$

Cuadro nº 11						
P (Kp)	Flecha (mm)			M (m · Kp)	σ Kp/cm ²	Observaciones
	f1	f2	f3			
0	0,00	0,00	0,00	0	0	–
12.000	23,35	22,30	21,55	21.600	100	–
18.000	46,10	37,30	38,05	32.400	150	–
21.900	53,50	51,05	52,55	39.420	182	–
24.200	58,30	61,20	62,60	43.560	202	–
24.500	71,30	65,05	68,40	44.100	205	Aparece primera fisura. Chasquido
26.370	–	–	–	47.466	220	Rotura total

Cuadro nº 12				
P (Kp)	Flecha (mm)	M (m · Kp)	σ (Kp/cm ²)	Observaciones
0	0,00	–	–	–
1.100	5,30	550	54	–
3.000	12,40	1.500	148	–
3.600	–	1.800	177	Aparece primera fisura
5.640	–	2.820	277	Rotura total

Cuadro nº 13				
P (Kp)	Flecha (mm)	M (m · Kp)	σ (Kp/cm ²)	Observaciones
0,0	0,00	–	–	–
500	7,28	420	41	–
1.000	13,94	840	83	–
1.700	23,20	1.430	140	–
2.000	27,7	1.680	165	–
2,500	34,30	2.100	207	–
2.800	37,70	2352	231	–
3.000	40,70	25,20	248	–
3.400	45,90	2.856	280	–
3.700	49,90	3.108	305	–
4.000	54,30	3.360	330	–
4.300	59,60	3.612	354	–
4.500	62,60	3.780	371	Chasquido primera fisura
4.720	–	3.965	389	Rotura total

Cuadro nº 14				
P (Kp)	Flecha (mm)	M (m · Kp)	σ (Kp/cm ²)	Observaciones
0	0,00	–	–	–
500	2,51	240	24	–
1.000	5,20	480	47	–
1.500	7,03	720	70	–
2.000	9,05	969	94	–
2.500	11,10	1.200	118	–
3.000	13,15	1.440	141	–
4.000	15,95	1.920	189	–
4.500	19,20	2.160	212	–
5.000	21,25	2.400	236	–
5.500	23,55	2.640	259	–
6.000	26,05	2.880	283	–
6.500	28,75	3.120	306	–
7.000	31,40	3.360	330	–
7.500	34,35	3.600	354	–
8.000	37,70	3.840	377	–
8450	41,80	4.056	398	Chasquido 1ª fisura
9.600	–	4.608	452	Rotura total

Cuadro nº 15				
P (Kp)	Flecha (mm)	M (m · Kp)	σ (Kp/cm ²)	Observaciones
0	0,00	–	–	–
1.000	4,91	485	48	–
2.000	7,20	970	95	–
2.500	8,7	1.213	120	–
3.000	10,15	1.455	143	–
3.500	11,75	1.698	167	–
4.000	13,15	1.940	191	–
4.500	14,75	2.183	214	–
5.000	16,15	2.450	238	–
5.500	17,85	2.668	262	–
6.000	19,40	2.910	286	–
6.700	21,05	3.250	319	Chasquido. Despegue de junta
6840	–	3.317	325	Rotura total

La rotura del elemento se inicia en los nudos y posteriormente aparece en secciones con uniones encoladas.

3.3 Ensayos de correas

Las cuatro piezas ensayadas están conformadas por 6 listones encolados resultando una sección $h = 26,8 \text{ cm}$ y $b = 8,5 \text{ cm}$ y son de longitudes diferentes.

Las condiciones generales de ensayo de dicha pieza son las que se indican en la figura 2.

Los resultados obtenidos en cada uno de los cuatro casos se indican a continuación y en los cuadros números 12, 13, 14 y 15.

$$M = \frac{P}{2} \times a \quad \text{m} \cdot \text{Kp}$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{8,5 \times 26,8^2}{6} = 1.018 \text{ cm}^3$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{8,5 \times 26,8^3}{12} = 13.635 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{P \times a}{48 \times E \times I} (3 l^2 - 4 a^2)$$

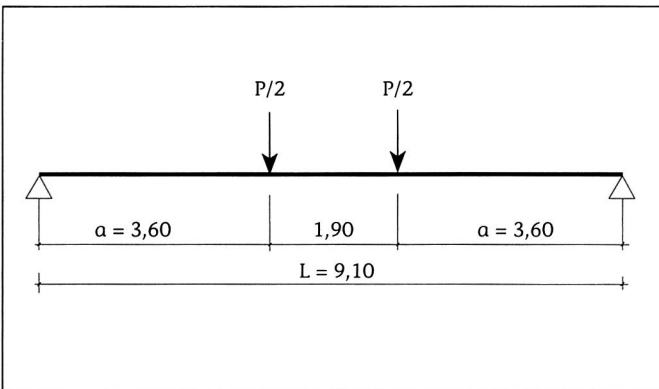


Figura 1

$$E = \frac{P \times a}{48 \times f \times I} (3 l^2 - 4 a^2)$$

3.3.1 Correa número 1

Las condiciones de ensayo de esta correa se indican en la figura número 3.

Los resultados obtenidos se indican a continuación y en el cuadro número 12.

$$M = 0,5 P \quad \text{m} \cdot \text{Kp}$$

$$E = 75.927 \text{ Kp/cm}^2$$

3.3.2 Correa número 2

Las condiciones de ensayo de esta correa se indican en la figura número 4.

Los resultados obtenidos se indican a continuación y en el cuadro número 13.

$$M = 0,84 P \quad \text{m} \cdot \text{Kp}$$

$$E = 119.784 \text{ Kp/cm}^2$$

3.3.3 Correa número 3

Las condiciones de ensayo de esta correa se indican en la figura número 5.

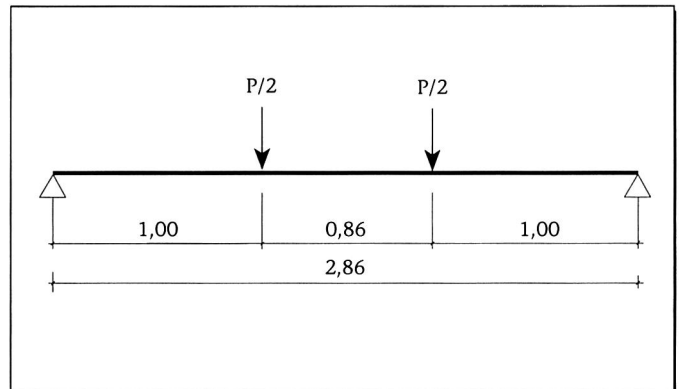


Figura 3

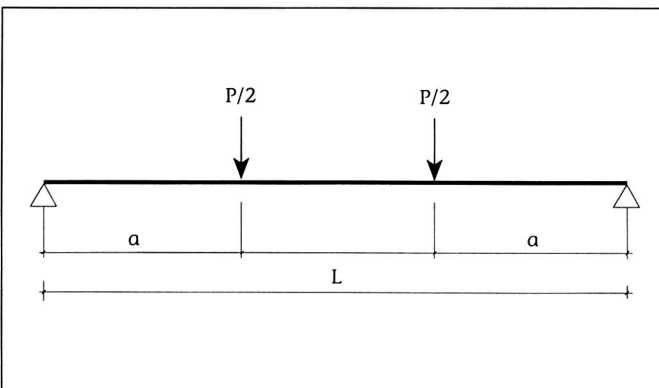


Figura 2

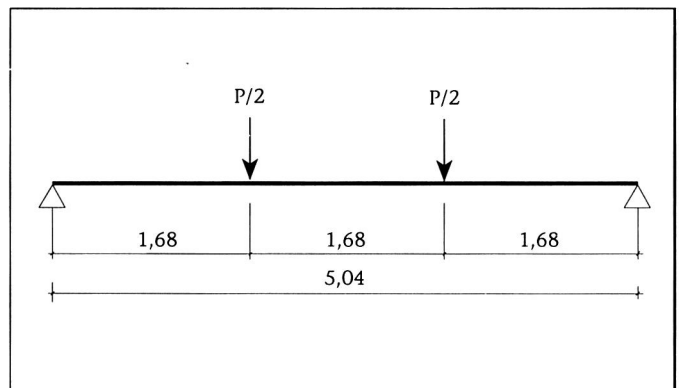


Figura 4

Los resultados obtenidos se indican a continuación y en el cuadro número 14.

$$M = \frac{P}{2} \times 0,96 = 0,48 \times P \text{ m} \cdot \text{Kp}$$

$$E = 65.977 \text{ Kp/cm}^2$$

3.3.4 Correa número 4

Las condiciones de ensayo de esta correa se indican en la figura número 6.

Los resultados obtenidos se indican a continuación y en el cuadro número 15.

$$M = \frac{P}{2} \times 0,97 = 0,485 \times P \text{ m} \cdot \text{Kp}$$

$$E = 99.196 \text{ Kp/cm}^2$$

3.3.5 Resumen del comportamiento de las correas ensayadas

- Tensión máxima de rotura..... 452 kp/cm²
- Tensión mínima de rotura..... 277 kp/cm²
- Tensión media de rotura 361 kp/cm²
- Módulo de elasticidad máxima .. 119.784 kp/cm²
- Módulo de elasticidad mínimo 65.977 kp/cm²
- Valor medio de E..... 90.221 kp/cm²

En todas las correas ensayadas la rotura se inicia por los nudos y posteriormente el fallo se localiza en las secciones con uniones encoladas.

4. CONCLUSIONES

4.1 Los ensayos realizados a las muestras de madera tomadas de los perfiles, ponen de manifiesto la dispersión de resultados en parámetros tan importantes como la compresión axial, tracción paralela a las fibras con o sin unión encolada en el

centro, flexión estática y cortadura.

El módulo de elasticidad obtenido es igualmente disperso estando comprendido entre 63.520 kp/cm² y 82.650 kp/cm².

4.2 Los ensayos realizados a las correas de madera laminada encolada ofrecen resultados que muestran oscilaciones entre un mínimo de 65.997 kp/cm² y un máximo de 119.977 kp/cm² para el módulo de elasticidad. La viga de 98 cm de canto y 9,10 m. de luz da un valor de módulo de elasticidad $E = 57.000 \text{ kp/cm}^2$

Estas dispersiones y bajos resultados obtenidos se debe además de la diferente calidad de la madera empleada, a la existencia de defectos como pueden ser la presencia de nudos, deficiencias en las uniones, defectuoso encolado, etc.

4.3 Si realizamos una comparación entre la tensión de rotura en el ensayo de flexión de probetas de madera con la de los elementos laminados, apreciamos una diferencia notable de comportamiento.

Mientras en las probetas obtenemos resultados de 582 kp/cm², en las piezas encoladas se obtienen 220 kp/cm² en vigas y 361 kp/cm² en correas, lo que nos indica que con mayor sección del elemento se produce una notable disminución como consecuencia de una mayor presencia de nudos, uniones y defectos.

4.4 Con estos datos obtenidos en este estudio, consideramos que debe establecerse un nivel de control intensivo dada la posible heterogeneidad de las maderas empleadas. Para ello proponemos inspecciones a base de durómetro y ultrasonidos que pueden hacerse extensivo a las uniones encoladas.

4.5 Por otra parte estimamos que a efectos de cálculo deben emplearse coeficientes de seguridad adecuados, en previsión de defectos o concentración de éstos, que puedan generar patologías estructurales.

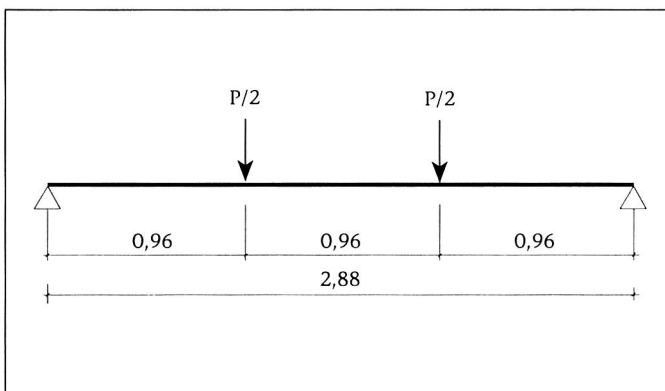


Figura 5

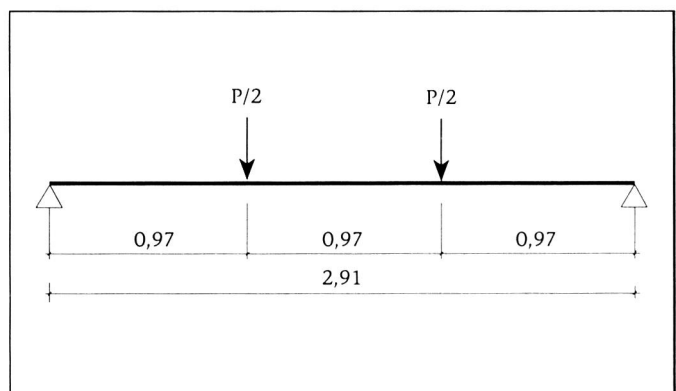


Figura 6

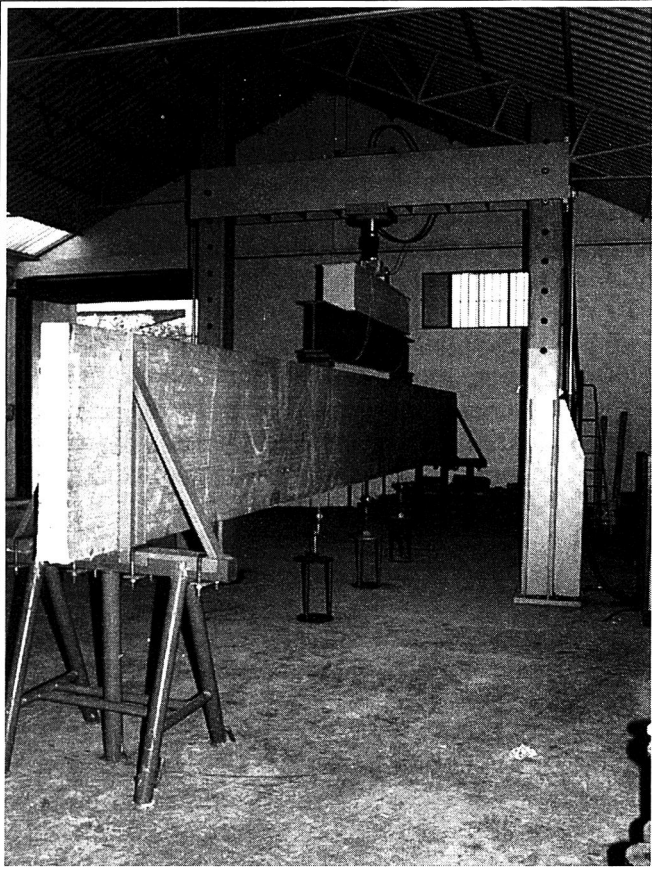


Figura 7

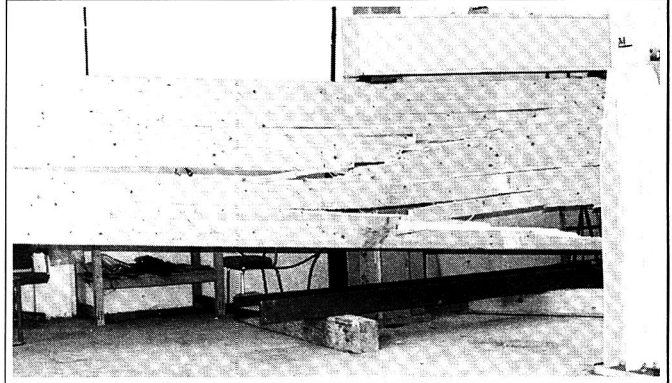


Figura 10

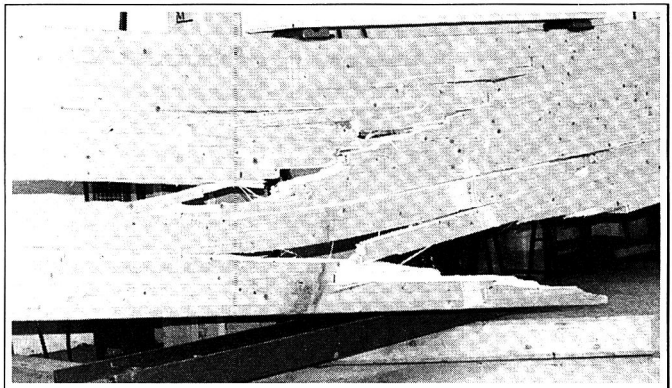


Figura 11

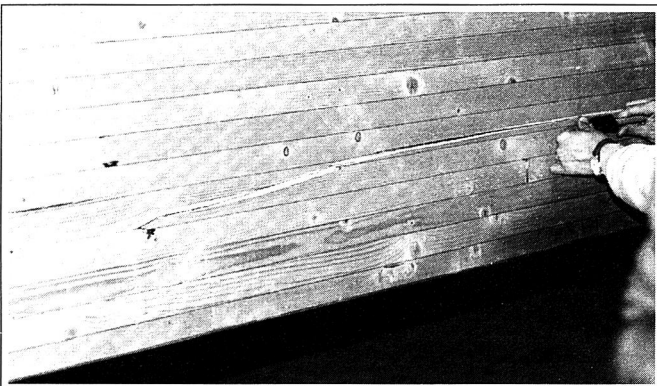


Figura 8

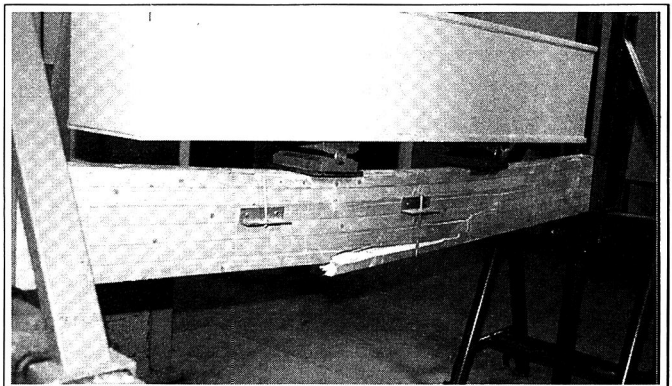


Figura 12

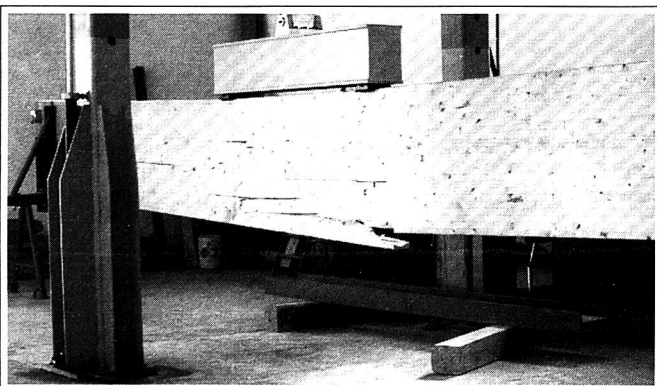


Figura 9

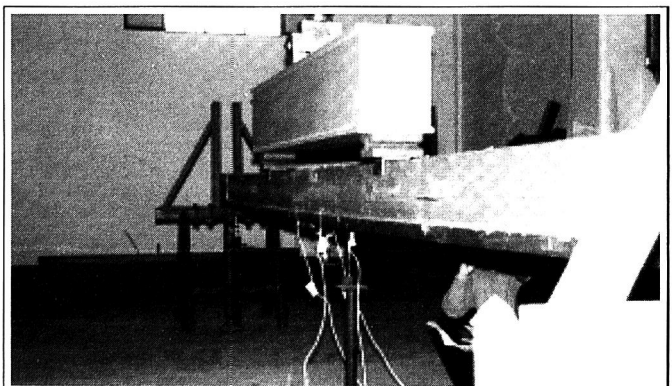


Figura 13