

# Influencia del tipo de encolado y del revestimiento superficial en el comportamiento reológico del tablero de partículas en condiciones alternantes de humedad relativa.

Fdez-Golfín Seco, J.I.  
Díez Barra, M.R.,  
Miranda Fontes, M.

## ABSTRACT

*Creep tests were conducted on four different commercial 19 mm particleboards with three layers. Two of them were uncoated (UF and MUF bonded) and the rest were melamine (80g/m<sup>2</sup>) and veneer (Mukally) overlaid.*

*Tests were carried out in cyclic humidity conditions (30%-90%), at 20°C, 7 days at each condition.*

*Creep deflections and time to failure were recorded, fitting mathematical models to predict long-term behaviour.*

*Creep deflection increased and time to failure decreased when panels were overlaid with veneer. The opposite took place when melamine coatings were employed. An intermediate behaviour, between UF and melamine coated boards, were recorded for MUF boards.*

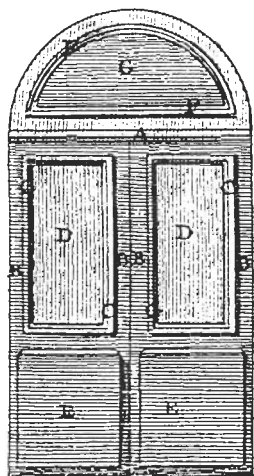
**KEYWORDS:** *Creep, coatings, rheology, particleboards*

El término reología fué inventado por el profesor Bingham del Lafayette College de Indiana. De acuerdo con él significa el estudio de la deformación y el flujo de la materia. Esta definición fué aceptada por primera vez cuando se constituyó la American Society of Reology en 1929.

La reología, por tanto, estudia la relación deformación-tiempo en los sólidos y el flujo viscoso de los líquidos. Afecta, por consiguiente, a gran cantidad de materiales: madera, metales, hormigón, vidrio, cerámica, aceites, leche, mantequilla, chocolate, etc.

La reología comprende no sólo el estudio del fenómeno (reología del fenómeno) sino su modelización y predicción (reología molecular).

La duración de la carga en la madera y derivados es uno de los factores más importantes que afectan a su resistencia y deformación. Con el paso del tiempo, la carga que puede ser soportada por un elemento de madera solicitado, decrece progresivamente a la vez que para una carga constante dada la deformación crece también progresivamente.



## INTRODUCCION

El comportamiento reológico de un tablero de partículas viene condicionado por su composición estructural, el tipo de encolado, los aditivos añadidos y los revestimientos aplicados.

De acuerdo con esto, las variables que pueden afectar a este comportamiento son:

- **Características de las partículas.** Influyen decisivamente el tamaño, la forma y la composición cuantitativa y cualitativa del material.

- **Tipo de cola.** (\*)Aún cuando existe una gran controversia sobre la cuantificación del efecto de esta variable sobre el comportamiento reológico, ya que algunos autores no detectan diferencias en el comportamiento de los encolados de UF y MUF (Bryan 1960, Halligan y Schniewind 1972) mientras que otros (Eriksson 1967, Kratz 1969, Gressel 1972, Lyon y Barnes 1978, Dinwoodie et al 1981) sí, se puede constatar en la práctica un diferente comportamiento (atribuible o no al encolado) entre los tableros fabricados con colas de UF y aquellos otros que lo han sido con colas de MUF.

- **Aditivos empleados.** Entre los aditivos más empleados en la fabricación de tableros de partículas se pueden citar las ceras y las parafinas. Hunt (1976) y Kratz (1969) constataron mejoras notables en el comportamiento reológico de los tableros para contenidos de parafina superiores al 0,5%.

- **Variables del proceso.** Todas las variables del proceso (número de capas, temperatura y forma de prensado, temperatura de secado, etc.) influyen decisivamente en el comportamiento reológico del tablero.

- **Revestimientos aplicados.** Aún cuando intuitivamente se comprende su influencia, la literatura sobre el tema es enormemente escasa (Chow 1979), no habiéndose desarrollado estudios sistemáticos sobre su influencia.

En gran medida todas las variables anteriores influyen por la modificación que introducen en el comportamiento a la sorción de los tableros.

La influencia del diferente comportamiento a la sorción de los tableros en sus propiedades reológicas ha sido evidenciado en gran cantidad de

estudios (Bryan 1960, Kufner 1970, Gressel 1972, Armstrong y Grossman 1972, Halligan y Schniewind 1972 Haygreen et al 1975, Lehmann et al 1975, Dinwoodie et al 1981, McNatt y Hunt 1982, Chow 1982, Gressel 1984, Dinwoodie et al 1984, etc).

Los estudios de Dinwoodie et al. (1981), sobre tableros de partículas, por un lado, y los de Chow (1982) sobre tableros MDF, por otro, demuestran que si se consideran unas condiciones fijas de humedad relativa por debajo del 65%, un aumento en ella (por ejemplo entre el 50 y el 65%) no produce un incremento significativo en el nivel de fluencia. Sin embargo, este aumento sí es significativo cuando la humedad aumenta por encima del 65%. En este sentido, al 90% de humedad relativa la fluencia resulta ser el doble que al 65%, después de un año.

Estos estudios demuestran, así mismo, que el incremento en la humedad relativa trae consigo no sólo un aumento de la deformación sino una disminución del tiempo de rotura o vida en servicio del tablero.

Los estudios de Bryan (1960), Kufner (1970), Gressel (1972), Armstrong y Grossman (1972), Halligan y Schniewind (1972), Haygreen et al. (1975), Lehmann et al. (1975), McNatt y Hunt (1982), Chow (1982), Gressel (1984), Dinwoodie et al. (1984); demuestran que la fluencia en condiciones cíclicas de humedad relativa, normalmente entre el 25 y el 95%, es de 2 a 4 veces mayor que en condiciones constantes a 20/65, y muy superior a la que se produce a 20/90.

Lógicamente, la cuantía de la fluencia en condiciones cíclicas viene fuertemente influenciada por el comportamiento a sorción del tablero, ya que dicho comportamiento configura el contenido de humedad del tablero y su evolución en el tiempo.

Por otra parte, los estudios de Schniewind y Lyon (1973), Johannesen (1977) y McNatt y Hunt (1982) demuestran que en condiciones fijas o alternantes la fluencia es mayor que en ambiente exterior protegido porque en esta última condición a la acción de la humedad relativa debe sumarse, pero en sentido inverso, la de la temperatura. De acuerdo con FESYP (1980), las propiedades de los tableros colocados al exterior bajo abrigo se degradan muy lentamente, incluso después de varios años de solcitación y con encolados no resistentes a la humedad (UF).

La información sobre el efecto de la temperatura en el comportamiento reológico del tablero de partículas es bastante escasa, habiendo sido abordado este tema tan sólo por un reducido

grupo de investigadores (Schniewind 1968, Gressel 1972, Niemz 1981, Dinwoodie et al 1984b, Chow 1982, Gressel 1984aóbb).

## Material y métodos

Los tableros ensayados, junto con las claves empleadas, figuran en la **tabla 1**. Los tableros C y D fueron preparados recubriendo el tablero A con el material adecuado.

Para la realización del ensayo se hizo uso de los siguientes equipos.

- Cámara climática capaz de efectuar los ciclos 20°/30%-20°/90%, con una precisión de 0,5°C y 2%.

- 48 bastidores de ensayo, compuestos por dos cilindros giratorios de 100 mm de longitud y 25 mm de diámetro, separados entre sí 475 mm. La carga se aplicó en el punto medio mediante un cilindro idéntico a los usados para los apoyos.

- Sistema de medición de flecha, compuesto por un micrómetro digital de 0.001 mm de precisión, montado sobre un bastidor adecuado.

- Máquina universal de ensayo.

De los cuatro tableros objeto de ensayo, se extrajeron probetas de 525x50 mm, en número suficiente, de acuerdo con las normas UNE 56.708 y 56.711. Diez probetas de estas fueron escogidas al azar para la determinación de las propiedades iniciales de los tableros, de acuerdo con la norma UNE 56.711. El resto de las probetas fueron dejadas para su uso en los ensayos de fluencia.

Los resultados obtenidos en los ensayos previos a la flexión, pueden verse recogidos en la **tabla 2**.

Todas las probetas y los equipos (bastidores, pesos, etc) utilizados en el ensayo, fueron previamente acondicionados a 20°C y 65% durante 21 días.

Una vez acondicionadas las probetas y manteniendo las condiciones de 20°C y 65%, fueron colocadas en sus bastidores, en número de tres por cada tablero y nivel de solicitación, procediéndose seguidamente a aplicar la carga adecuada en el punto medio del vano.

Se hizo uso de los siguientes niveles de carga.

1.- Para el análisis y modelización de las deformaciones: 20 y 30%. Los restantes niveles se desecharon ya que proporcionaban pocos datos.

2.- Para la determinación y modelización del tiempo de rotura: 30, 40, 50 y 60%. El nivel del 20% no se empleó pues daba

lugar a tiempos excesivamente largos. El nivel del 70% se rechazó por la poca estabilidad de los resultados.

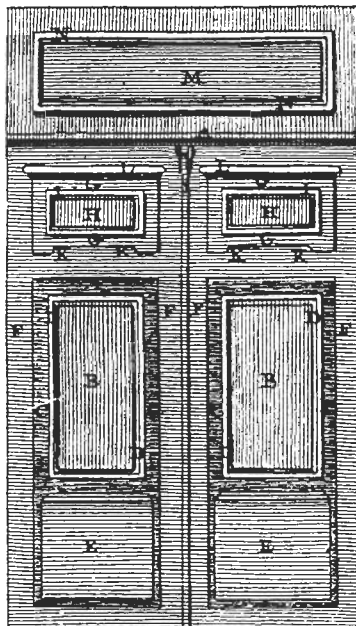
Los tiempos de medición de la flecha (al 20 y 30% de nivel de tensión) fueron los siguientes:

Inicial sin carga  
A los 30 s (flecha elástica)  
60 s  
15 min  
30 min  
Cada 60 min hasta las 6 horas  
A las 24 h  
Cada 24 h hasta los 5 días  
Al 7º día  
Cada semana hasta completar 36 semanas

Durante la primera semana de ensayo las condiciones se mantuvieron fijas en 20°C/65%. Finalizada esta se pasó a realizar los ciclos climáticos previstos, empezando por el más seco (20°/30%).

Además de las mediciones semanales de flecha, diariamente se comprobó el estado de las probetas, anotando el momento de la rotura.

Los valores de la evolución de la flecha con el tiempo, así como los de tiempo hasta la rotura, pueden verse recogidos en las tablas 3 y 4.



**Tabla 1**  
Material de ensayo

Clave	Tipo tablero	Recubrim.	Espesor	Encolado
A	Normal 3 capas	No	19	UF
B	Hidrófugo 3 capas	No	19	MUF
C	Normal 3 capas	Mukally	19	UF
D	Normal 3 capas	Melamina	19	UF

**Tabla 2**  
Propiedades iniciales

Clave	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	Rotura (kg)	Niveles de tensión					
				20	30	40	50	60	70
A	157	28000	40	8	12	16	20	24	28
B	180	31000	45	9	13.5	18	22.5	27	31.5
C	238	37000	60	12	18	24	30	36	42
D	172	36000	42	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4

# Resultados y discusión.

## 1.- Evolucion de la flecha

Cuando se compara el comportamiento reológico de materiales con propiedades elastomecánicas diferentes es necesario hacer uso del concepto de "fluencia relativa" en vez de la flecha absoluta.

La fluencia relativa viene definida por la ecuación:

$$FRi = \frac{(Fin - Fi0)}{Fi0}$$

donde:

**F:** Flecha absoluta

**FR:** Fluencia relativa

**Fi0:** Flecha absoluta Inicial o flecha a los 30 s

**I:** Tablero (A,B,C. ó D)

**n:** Nivel de solicitación

Tomando como base la deformación del tablero A, para analizar la influencia de los revestimientos superficiales y del tipo de encolado se calculó un ratio R para cada tablero y nivel de carga, dado por la expresión:

$$Rin = \frac{FRin}{FRAn}$$

donde:

**FR:** Fluencia relativa

**I:** Tablero considerado

**n:** Nivel de tensión

Los valores de las fluencias relativas (FR) y de los ratios R para los distintos tableros y niveles de tensión pueden verse recogidos en la **tabla 3**. Análogamente, su evolución gráfica queda recogida en las figuras 1.a, 1.b y 1.c.

### Fluencias relativas

### Ratios

Tiempo	FRA20	FRA30	FRB20	FRB30	FRC20	FRD20	FRD30	RA20	RA30	RB20	RB30	RC20	RD20	RD30
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.0	0.000	0.006	0.168	0.006	0.005	0.004	0.004	1.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
15.0	0.020	0.030	0.188	0.017	0.028	0.031	0.030	1.000	9.400	0.567	1.400	1.550	1.000	1.000
30.0	0.020	0.031	0.201	0.039	0.038	0.031	0.035	1.000	10.050	1.258	1.900	1.550	1.129	1.000
60.0	0.020	0.037	0.224	0.061	0.065	0.036	0.040	1.000	11.200	1.649	3.250	1.800	1.000	1.000
120.0	0.030	0.040	0.229	0.000	0.069	0.040	0.048	1.000	7.633	0.000	2.300	1.333	1.200	1.000
180.0	0.030	0.053	0.229	0.067	0.079	0.042	0.055	1.000	7.633	1.264	2.633	1.400	1.038	1.000
240.0	0.040	0.053	0.000	0.068	0.085	0.046	0.058	1.000	0.000	1.283	2.125	1.150	1.094	1.000
300.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
360.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1440.0	0.000	0.000	0.429	0.930	0.000	0.062	0.092	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2880.0	0.000	0.000	0.417	0.390	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4320.0	0.060	0.077	0.000	0.000	0.129	0.095	0.117	1.000	0.000	0.000	2.150	1.583	1.519	1.000
5760.0	0.070	0.083	0.000	0.000	0.135	0.095	0.123	1.000	0.000	0.000	1.929	1.357	1.482	1.000
7200.0	0.070	0.083	0.563	0.396	0.000	0.000	0.000	1.000	8.043	4.771	0.000	0.000	0.000	0.000
8640.0	0.070	0.090	0.575	0.397	0.136	0.000	0.000	1.000	8.214	4.411	1.943	0.000	0.000	0.000
10080.0	0.070	0.091	0.552	0.399	0.143	0.110	0.137	1.000	7.886	4.385	2.043	1.571	1.505	1.000
20160.0	0.240	0.342	0.559	0.401	0.145	0.158	0.213	1.000	2.329	1.173	0.604	0.658	0.623	0.254
30240.0	1.650	1.941	0.707	0.563	0.305	0.397	0.550	1.000	0.428	0.290	0.185	0.241	0.283	0.283
40320.0	1.690	2.103	1.493	1.275	0.695	0.367	0.517	1.000	0.883	0.606	0.411	0.217	0.246	0.246
50400.0	1.800	2.158	1.534	1.333	0.805	0.440	0.602	1.000	0.852	0.618	0.447	0.244	0.279	0.279
60480.0	1.840	2.256	1.588	1.393	0.807	0.414	0.581	1.000	0.863	0.617	0.439	0.225	0.258	0.258
70560.0	1.920	2.326	1.644	1.468	0.884	0.468	0.631	1.000	0.856	0.631	0.460	0.244	0.281	0.281
80640.0	1.980	2.483	1.653	1.498	0.867	0.440	0.631	1.000	0.835	0.603	0.438	0.222	0.254	0.254
90720.0	1.970	2.442	1.754	1.585	0.995	0.448	0.640	1.000	0.890	0.649	0.505	0.227	0.262	0.262
100800.0	2.040	2.566	1.706	1.536	0.936	0.445	0.648	1.000	0.836	0.599	0.459	0.218	0.253	0.253
110880.0	2.030	2.540	1.801	1.630	1.047	0.448	0.643	1.000	0.887	0.642	0.516	0.221	0.254	0.254
120960.0	2.050	2.591	1.775	1.608	1.019	0.461	0.657	1.000	0.865	0.621	0.497	0.225	0.254	0.254
131040.0	2.010	2.490	1.817	1.656	1.060	0.466	0.661	1.000	0.904	0.665	0.527	0.232	0.265	0.265
141120.0	2.080	2.636	1.758	1.606	0.955	0.460	0.667	1.000	0.845	0.609	0.459	0.221	0.253	0.253
151200.0	2.130	2.627	1.840	1.673	0.000	0.524	0.741	1.000	0.864	0.637	0.000	0.246	0.282	0.282
161280.0	2.280	2.907	1.820	1.689	0.977	0.501	0.739	1.000	0.804	0.581	0.429	0.220	0.254	0.254
171360.0	2.380	2.980	1.967	1.848	1.172	0.587	0.829	1.000	0.826	0.620	0.492	0.247	0.281	0.281
181440.0	2.500	3.109	1.989	1.905	1.103	0.556	0.829	1.000	0.796	0.613	0.441	0.222	0.267	0.267
191520.0	2.560	3.243	2.115	2.039	1.284	0.632	0.913	1.000	0.826	0.629	0.502	0.247	0.282	0.282
201600.0	2.700	3.427	2.107	2.089	1.184	0.606	0.906	1.000	0.780	0.610	0.439	0.224	0.264	0.264
211680.0	2.720	3.488	2.254	2.247	1.380	0.678	0.993	1.000	0.829	0.644	0.507	0.249	0.285	0.285
221760.0	2.920	3.747	2.215	2.275	1.256	0.641	0.981	1.000	0.759	0.607	0.430	0.220	0.262	0.262
231840.0	2.890	3.827	2.385	2.461	1.481	0.702	1.045	1.000	0.825	0.643	0.512	0.243	0.273	0.273
241920.0	3.080	0.000	2.315	2.441	1.328	0.673	1.029	1.000	0.752	0.000	0.431	0.219	0.000	0.000
252000.0	3.170	4.249	2.478	2.648	1.565	0.747	1.155	1.000	0.782	0.623	0.494	0.236	0.272	0.272
262080.0	3.260	0.000	2.481	2.746	1.412	0.736	1.141	1.000	0.761	0.000	0.433	0.226	0.000	0.000
272160.0	3.450	4.735	2.530	2.823	1.526	0.822	1.315	1.000	0.733	0.596	0.442	0.238	0.278	0.278
282240.0	3.720	4.814	2.660	3.101	1.532	0.800	1.317	1.000	0.715	0.644	0.412	0.215	0.274	0.274
292320.0	3.600	4.814	2.858	3.417	1.728	0.840	1.436	1.000	0.794	0.710	0.480	0.207	0.298	0.298
302400.0	3.990	4.814	2.768	3.437	1.581	0.827	1.485	1.000	0.694	0.714	0.396	0.237	0.308	0.308

(\*) Los valores marcados como 0.000, salvo los correspondientes a los tiempos 0.0 y 0.5, representan carencia de dato.

Tabla 3.

Tabla 4.

Tiempos medios hasta la rotura (min).

Tablero	Carga	T
A	30	267040
A	40	41760
A	50	23400
A	60	20640
B	30	348033
B	40	195840
B	50	73440
B	60	24480
C	30	(*)
C	40	53640
C	50	28800
C	60	22080
D	30	345600
D	40	118560
D	50	58560
D	60	28800

(\*) Sin datos

Tabla 5.

Tiempo	FA20	FA30	FB20	FB30	FC20	FD20	FD30	DIFA	DIFB	DIFD	DIFRELA	DIFRELB	DIFRELD
50400	21.36	27.16	19.13	23.91	16.77	11.55	14.35	5.80	4.78	2.80	1.00	0.02	0.48
60480	21.69	28.00	19.54	24.53	16.79	11.34	14.17	6.31	4.99	2.83	1.00	0.79	0.45
70560	22.28	28.60	19.96	25.30	17.50	11.77	14.81	6.32	5.34	3.04	1.00	0.84	0.48
80640	22.77	29.95	20.03	25.60	17.34	11.55	14.81	7.18	5.57	3.06	1.00	0.78	0.43
90720	22.69	29.60	20.79	26.50	18.53	11.61	14.69	6.91	5.71	3.08	1.00	0.83	0.45
100800	23.19	30.67	20.43	25.99	17.99	11.59	14.77	7.48	5.56	3.18	1.00	0.74	0.43
110880	23.09	30.44	21.15	26.96	19.02	11.61	14.72	7.35	5.81	3.11	1.00	0.79	0.42
120960	23.28	30.88	20.95	26.73	18.76	11.72	14.85	7.60	5.78	3.13	1.00	0.76	0.41
131040	23.00	30.01	21.27	27.22	19.14	11.76	14.88	7.01	5.95	3.12	1.00	0.85	0.45
141120	23.52	31.27	20.82	26.71	18.16	11.71	14.94	7.75	5.89	3.23	1.00	0.76	0.42
151200	23.85	31.19	21.44	27.40	0.00	12.22	15.60	7.34	5.96	3.38	1.00	0.81	0.46
161280	25.04	33.60	21.38	27.56	18.37	12.04	15.58	8.56	6.18	3.54	1.00	0.72	0.41
171360	25.79	34.23	22.40	29.19	20.18	12.73	16.46	8.44	6.79	3.73	1.00	0.80	0.44
181440	26.67	35.34	22.57	29.78	19.54	12.48	16.39	8.67	7.21	3.91	1.00	0.83	0.45
191520	27.20	36.49	23.52	31.15	21.22	13.09	17.14	9.29	7.63	4.05	1.00	0.82	0.44
201600	28.21	38.07	23.46	31.66	20.29	12.88	17.08	9.86	8.20	4.20	1.00	0.83	0.43
211680	28.40	38.60	24.57	33.28	22.11	13.46	17.86	10.20	8.71	4.40	1.00	0.85	0.43
221760	29.89	40.82	24.27	33.57	20.96	13.16	17.75	10.93	9.30	4.59	1.00	0.85	0.42
231840	29.68	41.51	25.56	35.48	23.05	13.65	18.32	11.83	9.92	4.67	1.00	0.84	0.39
241920	31.16	44.97	25.03	35.27	21.63	13.42	18.18	13.81	10.24	4.76	1.00	0.74	0.34
252000	31.79</												

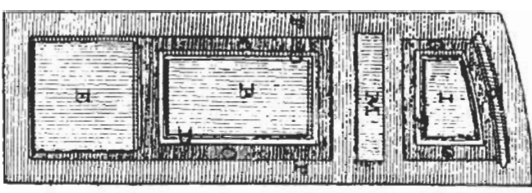
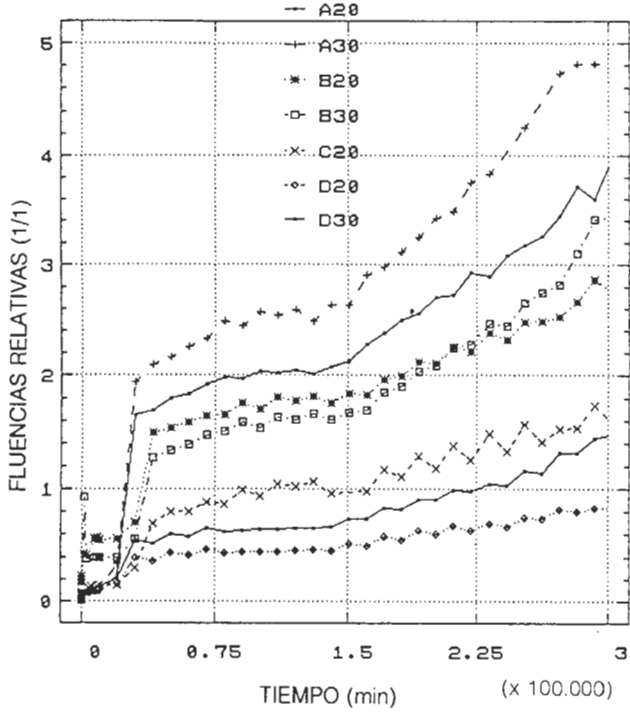
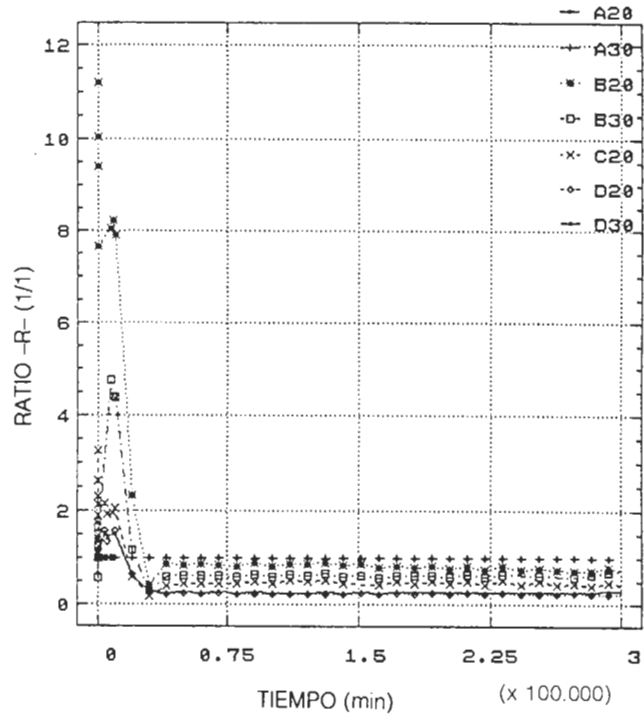


Fig. 1, (a, b, c, d).

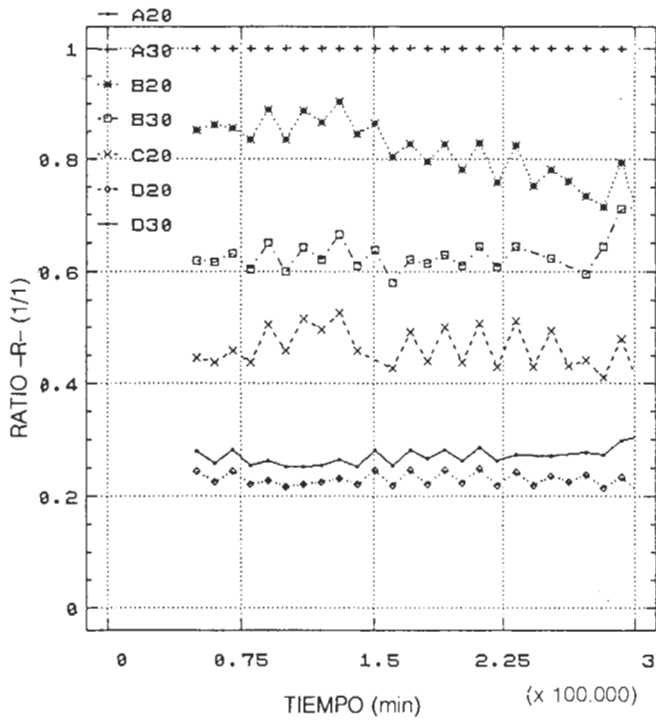
Fluencias relativas vs. tiempo



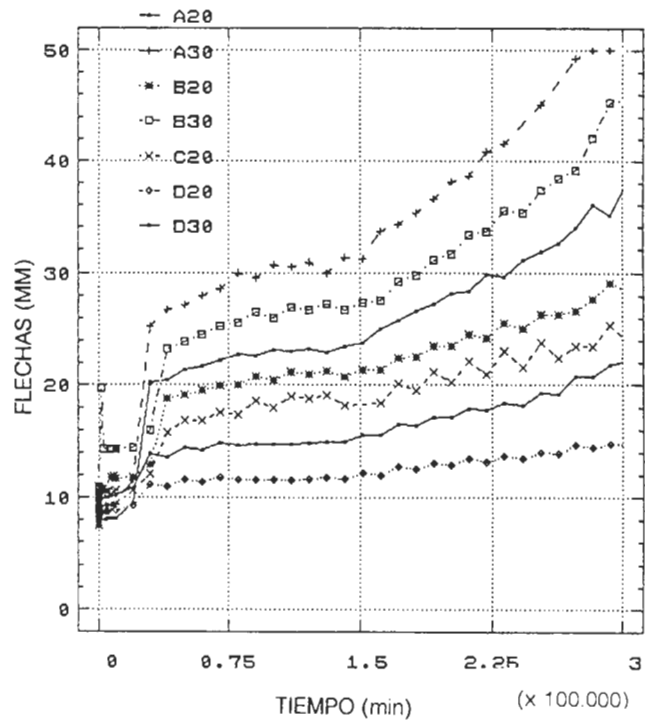
Ratios -R- vs. tiempo.

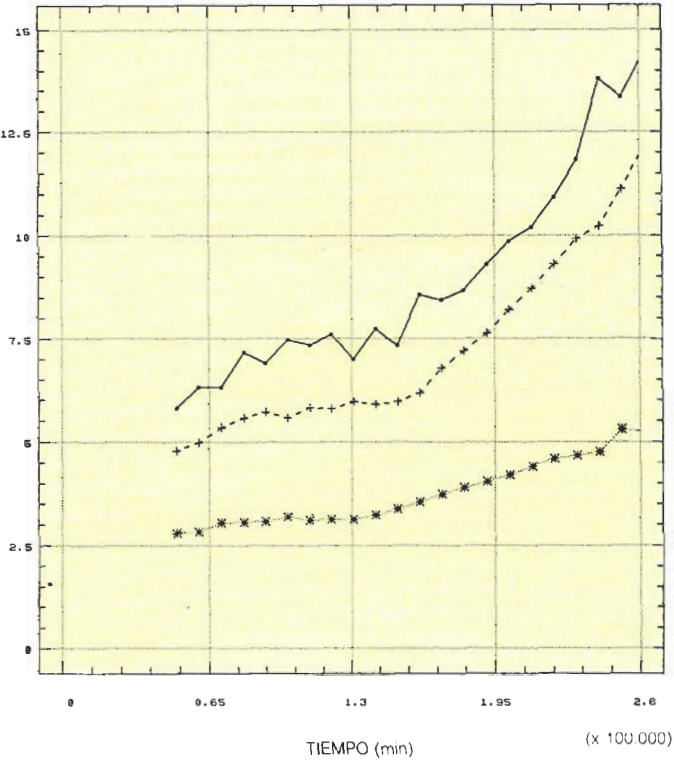


Ratios -R- vs. tiempo (a partir de la 5ª semana).



Flechas absolutas vs. tiempo.





**Fig. 2.**  
*Influencia del nivel de tensión en los tableros A, B y C.*

**a) Análisis de las deformaciones**

Del análisis de la tabla 3 se deduce, en primer lugar, que los tableros recubiertos (C y D), a igualdad de nivel de sollicitación, presentan siempre valores de fluencia relativa inferiores a los habidos en los tableros no recubiertos (A y B). Asimismo, se observa que el tablero A es el que presenta el peor comportamiento y el D el que mejores resultados aporta.

La figura 2 representa la evolución de la variable DIF (tabla 5) con el tiempo. Esta variable DIF se obtuvo mediante la expresión:

$$DIFRELI = DIFI / DIFA$$

donde:  
i: Tablero considerado (A, B ó D). El tablero C no fué considerado ya que faltaron datos al 30% de nivel de sollicitación, por su temprana rotura.

El análisis de la figura 2 permite concluir que el tablero A es más sensible que el B y éste más que el D, al nivel de sollicitación.

Para comparar el comportamiento de los tableros B y D con el del tablero A se hizo uso de la variable DIFREL, obtenida mediante la expresión:

$$DIFI = Fi30 - Fi20$$

Los valores de esta variable pueden verse recogidos en la tabla 5.

Del análisis de estos valores se deduce que en el tablero B la influencia relativa del nivel de tensión sobre la flecha es mayor (85% de la del tablero A) que en el tablero D (45% de la del tablero A).

El análisis de las flechas absolutas (fig 1.d) y de las fluencias relativas habidas, para los distintos niveles de sollicitación, sólo permite concluir que el revestimiento melamínico confiere al tablero base un mejor comportamiento reológico que el revestimiento con chapa de madera.

Este análisis de las flechas (fig 1.d) también permite conocer la diferente "sensibilidad" de los distintos tableros al fenómeno de la sorción. Estudiando la intensidad del cambio de la flecha entre medidas y relacionándolo con el proceso sorción/desorción imperante en ese intervalo de tiempo, se puede concluir que:

1º Los tableros desnudos (A y B) tienen un comportamiento ante la sorción muy similar entre sí, con independencia del nivel de sollicitación. El período de alternancia de flechas se extiende entre la semana octava y la decimoséptima, no observándose influencia alguna del nivel de sollicitación es este fenómeno.

2º El tablero recubierto de chapa de madera (C) presenta un comportamiento análogo al de los desnudos, si bien bastante más acusado y prolongado en el tiempo, pues este fenómeno de la alternancia de flechas debido a los sucesivos ciclos de sorción/desorción, se extiende acusadamente desde la tercera semana hasta el final del ensayo.

3º El signo de la alternancia de flecha en los cuatro tableros es coincidente, de forma que aumenta con la sorción y disminuye en la desorción.

Considerando un ciclo completo SDS (sorción-desorción-sorción), la flecha final siempre crece aunque en la fase seca del mismo se produzca un descenso en la deformación del tablero.

A fin de poder analizar mejor este diferente comportamiento de los tableros en función de las condiciones ambientales y de conocer la velocidad de sorción y desorción de los cuatro tableros, se llevó a cabo paralelamente un ensayo tendente a determinar el contenido de humedad final (30 días) y su diferencia con el contenido de humedad a los 7 días de acondicionamiento. La tabla 4 recoge los valores máximos y mínimos obtenidos tanto a los siete como a los treinta días.

**Tabla 6**  
**Comparación del contenido de humedad a corto y largo plazo**

Condición	7 días				30 días			
	A	B	C	D	A	B	C	D
20/90	13.8	13.4	15.3	12.1	15.3	14.8	16.4	13.7
20/30	7.4	7.6	7.6	8.1	7.2	7.4	7.5	7.5

De acuerdo con estos valores se deduce que a la semana ya se tenía una indicación del contenido de humedad final del tablero del orden de la señalada en la **tabla 7**.

De los anteriores resultados se deduce que:

- 1º La utilización de colas de MUF frente a las de UF ni incrementa ni disminuye la velocidad de sorción del tablero.
- 2º El uso de revestimientos de chapa de madera sin barnizar incrementa la velocidad de la sorción, con el agravante de que la cola de UF es químicamente menos resistente a la acción de la hidrólisis. Este comportamiento puede ser atribuido a la baja densidad y alta permeabilidad de las maderas empleadas para chapas de recubrimiento (Mukally en este caso).
- 3º Los revestimientos melamínicos restan sensibilidad al tablero frente al medio, si bien no consiguen hacer disminuir sensiblemente los valores máximos que se alcanzan a largo plazo en condiciones constantes.

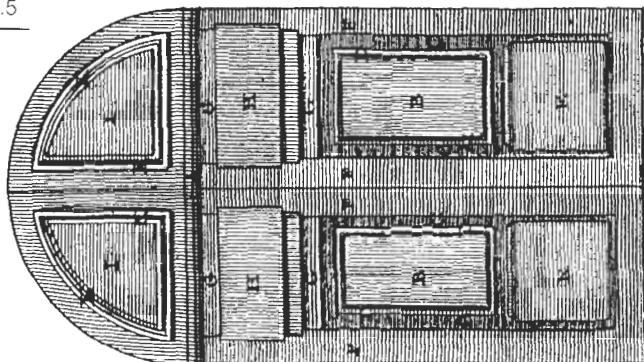
El estudio comparado del comportamiento de los distintos tableros y de la influencia de los tratamientos superficiales y en masa aplicados puede abordarse con mucho más rigor haciendo uso de la evolución de los ratios R de los tableros (B, C, D). De forma gráfica la evolución de estos ratios puede verse recogida en las figuras 1.b y 1.c. Su evolución numérica puede verse en la tabla 3.

De acuerdo con los valores habidos para el ratio R en los distintos tableros (B, C y D) y considerando un mismo nivel de tensión del 20%, se concluye que la degradación mecánica observada en el tablero B es el 81% de la presentada por el tablero A, existiendo una tendencia altamente significativa a disminuir (a mejorar su comportamiento relativo).

Análogamente, la degradación del tablero C se sitúa en torno al 46% de la del A, con una tendencia no significativa a disminuir, mientras que en el tablero D este porcentaje se sitúa en torno al 23%, con una tendencia no significativa a disminuir.

**Tabla 7**

Tablero	20/90	20/30
A	90	97.2
B	90.5	97.3
C	93.3	99
D	88.3	92



Un nivel de tensión del 30% no produce una diferencia marcada en su comportamiento, pues la degradación comparada del tablero D resulta ser del 27% con una tendencia significativa a aumentar y la del tablero B del 63% con una tendencia no significativa a aumentar. Estos valores son consistentes con los vistos de la sensibilidad de los tableros al nivel de sollicitación. Resulta lógico que la menor sensibilidad de un tablero (D) al nivel de sollicitación se manifieste en una degradación comparada análoga para ambos niveles de tensión (23% para un nivel de sollicitación del 20% y 27% para un nivel del 30%).

No se pudo evaluar la influencia del nivel de tensión en el tablero C pues al romper éste muy pronto (al nivel de tensión del 30%) no se tuvieron suficientes datos en los que soportar la comparación.

Para la realización de este análisis comparativo se prescindió de los datos correspondientes a las cuatro primeras semanas, pues en este periodo, al encontrarnos en la primera fase de la fluencia, las comparaciones resultan muy dificultosas por la poca estabilidad y gran rapidez de los cambios acaecidos en los distintos tableros (figura 1.b).

Del anterior análisis se deduce el excelente comportamiento conferido por el recubrimiento melamínico (tablero D y tablero A), que mejora las prestaciones del tablero base (A) en un 75%, valor medio válido para ambos niveles de sollicitación.

Análogamente se constata la mejora introducida por el encolado de MUF y su relativa poca sensibilidad al nivel de tensión aplicado, ya que la mejora introducida puede cuantificarse en un 19% a un nivel del 20% y en un 37% a un nivel del 30%.

La relativa poca mejora introducida por el encolado de MUF, sobre todo si se compara con la introducida por los revestimientos melamínicos, hace cuestionarse seriamente la oportunidad y economía de su aplicación.

Desde un punto de vista práctico las constataciones anteriores llevan a las siguientes conclusiones parciales:

1ª Los revestimientos melamínicos aplicados a tableros de partículas desensibilizan a estos respecto del nivel de tensión aplicado (20 ó 30%) y de las condiciones medioambientales alternantes (una semana de duración).

2ª La sustitución del tradicional encolado de UF por otro de MUF mejora muy poco la sensibilidad del tablero respecto del nivel de sollicitación (18% al pasar de un nivel del 20% a otro del 30%) y de las condiciones medio-ambientales circundantes.

3ª Los revestimientos melamínicos no mejoran las propiedades a corto plazo aunque sí las de largo plazo, pues disminuyen su degradación con el tiempo. Las propiedades elásticas se mejoran, no obstante, tanto a corto como a largo plazo.

4ª Las tres conclusiones anteriores cuestionan gravemente la tendencia actual a mejorar el comportamiento físico y reológico del tablero mediante la sustitución del tradicional encolado de UF por otro de MUF (tableros resistentes a la humedad) y plantean la conveniencia de la aplicación constructiva de los tableros revestidos con melamina.

## 2.- Vida en servicio del material

### b) Modelización y predicción de las deformaciones

Dados los pobres resultados obtenidos en el ajuste de los modelos físico-matemáticos tradicionales a los datos experimentales, motivados fundamentalmente por el mayor ritmo que la degradación mecánica toma en este caso por las condiciones ambientales cíclicas, se hizo uso del modelo matemático  $1/Y=A+BT$  donde Y representa la flecha absoluta (mm) y T el tiempo (min).

Dada la imposibilidad de ajustar adecuadamente el modelo a la totalidad de los datos experimentales, especialmente en la primera fase del proceso, se optó por efectuar el ajuste a partir de un tiempo de 50.400 minutos, ya que es a partir de este momento cuando el proceso degradativo del tablero se ralentiza, superándose la fase primera de la flecha.

Los ajustes y coeficientes obtenidos figuran recogidos en la **tabla 8**.

La **tabla 9** aporta una indica-

ción de los errores de predicción obtenidos, por tablero y nivel de sollicitación.

De todo lo anterior se deducen las siguientes conclusiones parciales:

1ª Todos los modelos físico-matemáticos que para su establecimiento se basan en datos que no incorporan la fase tercera de la flecha, o de rotura incontrolada del material, deben ser tomados con enorme prudencia, pues tienden a minusvalorar la flecha conforme el tiempo avanza.

2ª El modelo  $1/Y=A+BT$  ha demostrado su utilidad en la modelización del comportamiento de los tableros a flección, por encima de la primera fase de la flecha.

3ª Las condiciones del ensayo influyen decisivamente en el resultado y, por tanto, en el modelo predictivo.

Por ello, la extrapolación de modelos y de resultados a la vida en servicio del material debe hacerse con suma cautela.

Los tiempos hasta la rotura, en minutos, en función del tipo de tablero y del nivel de sollicitación quedan recogidos en la tabla 4. En ella no se incluyen ni los resultados para un nivel de sollicitación del 70%, por su gran variabilidad y poca utilidad, ni los correspondientes a un nivel del 20%, por exceder el horizonte temporal de ejecución de este trabajo.

A estos datos fué ajustado el modelo  $\text{Log}T=A+BY$  (McNatt 1975a), obteniéndose valores del coeficiente de ajuste ligeramente superiores al 94%. Pese a este buen ajuste matemático, los errores de predicción de la vida en servicio (Ajuste lineal en tabla 11), que se producen al trabajar con la transformada logarítmica, fueron bastante abultados: (-84% a 513%).

Para mejorar la predicción de la vida en servicio de los tableros se empleó el modelo en tiempo real.

$$T=10000\left[\left(\frac{10A}{S} + B\right)^{\frac{1}{C}}\right]$$

donde:

**T:** tiempo hasta la rotura en minutos

**S:** nivel de sollicitación en %.

**A,B y C:** constantes.

La tabla 10 recoge los valores de las constantes A,B y C de este modelo.

**Tabla 8**  
Ajustes  $1/Y=A+BT$

Tablero	Solicit.	A	B	R2
A	20	0.0516	-7.793E-8	96.52
A	30	0.0407	-7.125E-8	96.56
B	20	0.0554	-6.539E-8	96.54
B	30	0.0457	-7.143E-8	96.21
C	20	0.0632	-7.521E-8	89.57
D	20	0.0949	-8.462E-8	91.48
D	30	0.0772	-9.499E-8	93.77

**Tabla 10**  
Ajustes del modelo parabólico  
(T variable dependiente)

Tablero	A	B	C	R <sup>2</sup>
A	3.72	0.326	0.137	99.28
B	22.23	-1.599	0.492	97.98
C	2.25	0.696	0.133	99.58
D	6.70	0.186	0.249	99.93

**Tabla 9**  
Errores de predicción (%)  
modelo  $1/Y=A+BT$

Tiempo(*) (min)	Nivel de 20%				Nivel del 30%			
	A	B	C	D	A	B	D	
50400	-1.8	0.3	0.4	-4.5	-0.8	-0.7	-3.8	
131040	5.0	0.4	-2.0	1.4	6.2	1.1	3.8	
191529	0.3	-0.9	-3.4	-3.0	1.3	0.3	-1.1	
231840	0.5	-2.8	-5.2	-2.7	-0.4	-3.3	-1.1	
262080	-1.4	-0.5	2.6	-1.2	-3.4	-3.5	0.3	

(\*) Extracto de tiempos



lo así como los ajustes obtenidos.

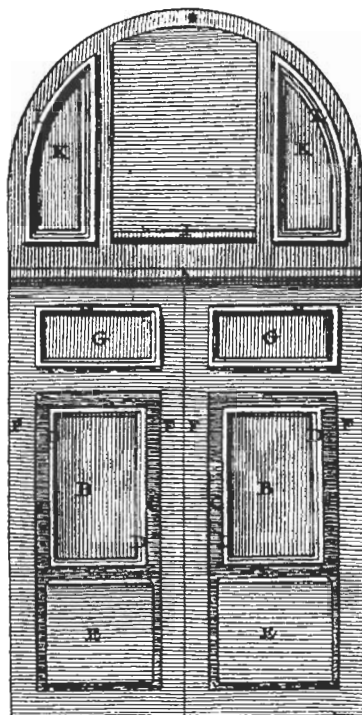
La tabla 11 recoge los valores del error de predicción obtenidos (modelo parabólico), los cuales, aunque en ocasiones pueden resultar elevados, son notablemente inferiores que los obtenidos con el modelo lineal-logarítmico.

Del análisis de los datos de las tablas 10 y 11, se deducen las siguientes conclusiones:

1ª El modelo propuesto ha demostrado un notable menor error de predicción que el lineal-logarítmico.

2ª Los errores de predicción habidos para el nivel de sollicitación más bajo (30%) son muy buenos. Para los niveles del 40 y 50% son coincidentes con los coeficientes de variación de las propiedades iniciales y, por tanto, admisibles. Para el nivel del 60% los errores en los tableros desnudos (A y B) pueden ser altos (67% y 85%) pero estos niveles de sollicitación no se dan, normalmente en la práctica.

3ª Los recubrimientos superficiales, y especialmente el melamínico, reducen los errores de predicción y alargan la vida en servicio.



## Conclusiones y recomendaciones.

De los resultados anteriores se deducen las siguientes conclusiones:

1ª Los ciclos sorción-desorción afectan al comportamiento reológico de los tableros, acelerando su deformación y disminuyendo su vida en servicio. En general puede afirmarse que la flecha crece en la fase de sorción y disminuye en la de desorción.

Todos los tratamientos que aumentan el contenido de humedad de las capas externas del tablero incrementan esta sensibilidad de los tableros al fenómeno de la sorción.

Cuando el nivel de la tensión interna es elevado (fases 1ª y 3ª de la fluencia) este proceso de alternancia de flechas no se da, circunscribiéndose únicamente a la fase segunda, en la que el material trabaja más "holgadamente".  
2ª El nivel de tensión aplicado influye decisivamente en el comportamiento reológico de los tableros. Sin embargo, los tableros recubiertos con melamina muestran una notable menor "sensibilidad" ante el nivel de tensión aplicado (20 ó 30%).

3ª Los modelos aplicados a la predicción de la flecha que se produce en cada momento como consecuencia del fenómeno reológico deben ser aplicados con enorme prudencia pues dejan de tener validez al alcanzarse la fase tercera o de rotura incontrolada del material.

Queda demostrada la posibilidad de utilizar un modelo del tipo  $1/Y=A+BT$  para la modelización y predicción de la deformación con el tiempo en sus fases segunda y tercera. No obstante, este modelo no es directamente extrapolable a la realidad pues su formulación exacta depende de las condiciones del ensayo, las cuales a su vez configuran la duración del material.

4ª Las propiedades mecánicas iniciales de un tablero no pueden ser consideradas como un indicador fiable de la calidad del material en su comportamiento bajo carga a largo plazo. Este conocimiento sólo puede adquirirse mediante la realización de ensayos en condiciones reales o, con una validez no absoluta sino comparada, aceleradas.

Tabla 11  
Comparación de valores observados y predichos por modelos

Tablero	Tensión	V. observado	Valor predicho en ajuste		Error en predicción	
			Parabólico	Lineal	Parabólico	Lineal
A	30	267040	268643	482719	+0.6	+81
	40	41760	53500	91517	+28	+119
	50	23400	16564	17350	-29	-26
	60	20640	6728	3289	-67	-84
B	30	348033	356548	1260315	+24	+262
	40	195840	163507	210185	-165	+7
	50	73440	83720	35053	+14	-52
	60	24480	45386	5846	+85	-76
C	30	160000	159796	980219	-01	+513
	40	53640	56267	162811	+5	+203
	50	28800	27834	27042	-3	+6
	60	22080	16735	4492	-24	-80
D	30	345600	345148	1026375	-01	+197
	40	118560	120633	177214	+2	+49
	50	58560	54469	30598	-7	-48
	60	28800	28896	5283	+03	-82

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

5ª Para la vida en servicio y de la pérdida de resistencia con el tiempo de un tablero queda demostrada la aplicabilidad del modelo parabólico

$$T=10000\left[\left(\frac{10A}{S} + B\right)^{\frac{1}{6}}\right]$$

el cual presenta mucho mejores ajustes y predicciones que el "tradicional" lineal-logarítmico,

$$Y = A + B(\log T)$$

En este sentido se ha podido constatar el buen, homogéneo y predecible comportamiento conferido por el revestimiento melamínico a un tablero normal desnudo, usado como base de laminación.

Como recomendación final cabe destacar la enorme conveniencia de aplicar recubrimientos superficiales melamínicos cuando:

- El tablero vaya a estar sometido a condiciones alternantes de humedad no prolongadas en el tiempo (menos de una semana).

- El tablero vaya a ser aplicado como elemento portante a flexión, especialmente en las condiciones anteriormente citadas, ya que con ello se disminuye el nivel de deformación y la sensibilidad a niveles de sollicitación más elevados, aumentándose la vida en servicio del material y la posibilidad de su predicción.

Estas dos recomendaciones anteriores no impiden adjuntar una tercera, en el sentido de que puede verse mejorado, aún más, el comportamiento del tablero si además del revestimiento melamínico se realiza una sustitución del encolado de UF por otro de MUF.

\* *Armstrong, L.D.; Grossman, P.U.A. (1972). The behaviour of particleboard and hardboard beams during moisture cycling. Wood Sci. Technol. 6:128-137.*

\* *Bryan, E.L. (1960). Bending strength of particleboard under long-term load. For. Prod. J. 10(4):200-205.*

\* *Chow, P. (1979). Deflection in bending of birch-veneered wood-base composite shelving panels. For. Prod. J. 29(12):39-40.*

\* *Dinwoodie, J.M.; Paxton, B.H.; Pierce, C.B. (1981). Creep in chipboard. Part 3: assessment of the influence of moisture content and level of stressing on rate of creep and time to failure. Wood Sci. Technol. 15:125-144.*

\* *Dinwoodie, J.M.; Pierce, C.B.; Paxton, B.H. (1984). Creep in chipboard. Part 4: the influence of temperature and moisture content on the creep behaviour of a range of boards at a single stress level. Wood Sci. Technol. 18:205-224.*

\* *Dinwoodie, J.M.; Paxton, B.H.; Pierce, C.B.; Aloysius, E.J. (1984b). Quantification and prediction of creep in particleboard. FESYP 42nd Meeting of the Technical Commission: 79-94.*

\* *Dinwoodie, J.M.; Higgins, J.A.; Robson, D.J.; Paxton, B.H. (1990). Creep in chipboard. Part 7: testing the efficacy of models on 7-10 years data and evaluating optimum period of prediction. Wood Sci. Technol. 24:181-189.*

\* *Eriksson, L. (1967). Rapport d'essai sur le fluage. FESYP 17 meeting Technical Commission.*

\* *Fernández-Golfín Seco, J.I.; Dlez Barra, M.R.; Miranda Fontes, M. (1991). Comportamiento reológico del tablero de partículas. Influencia del tipo de encolado y del revestimiento superficial aplicado. Memoria final del proyecto INIA 7597. Monografías INIA, Serie recursos naturales (en prensa).*

\* *FESYP (1980). Investigations into creep performance of particleboards. FESYP, May 1980. 100 pp.*

\* *Gressel, P. (1972). The effect of time, climate, and loading on the bending behaviour of wood based materials. Part I: previous investigations, testing plan, research methods. Holz Als Roh-und Werks. 30(7):259-266. Part II: test results in dependency on the creep parameters. Holz Als Roh-und Werks. 30(9):347-355. Part III: discussion of results. Holz Als Roh-und Werks. 30(12):479-488.*

\* *Gressel, P. (1984). Long-term particleboard performance under load. FESYP 42nd meeting Technical Commission, pp:67-85.*

\* *Halligan, A.F.; Schniewind, A.P. (1972). Effect of moisture and creep properties of particleboard. For. Prod. J. 22(4):41-48.*

\* *Hunt, D.G. (1976). Rupture tests of wood chipboard under long term loading. J. of Inst. Wood Sci. 7(3):13-21.*

\* *Johannesen, S. (1977). Essais de flexion en longue durée (sur chant) avec des panneaux de particules de 13 mm résistant à l'humidité. FESYP 36th meeting Technical Commission, pp: 121-147.*

\* *Kratz, W. (1969). Investigations on the long-term behaviour of particleboard. Holz Als Roh-und Werks. 27(19):380-387.*

\* *Kufner, M. (1970). Das kriechen von holzspanplatten bei langzeitiger biege beanspruchung. Holz Als Roh-und Werks. 28:429-446.*

\* *Lehmann, W.; Ramaker, T.J.; Hefny, F.V. (1975). Creep characteristics of structural panels. Proceedings 9th Washington State Univ. Symp. on particleboard. pp:151-172.*

\* *Lyon, D.E.; Barnes, H.M. (1978). Time-dependent properties of particleboard decking flexure. For. Prod. J. 28(12):28-34.*

\* *McNatt, J.D. (1975). Effect of rate of loading and duration on properties of particleboard. USDA For. Serv. Pap. FPL 270. 16 pp. Madison, Wis. FPL.*

\* *McNatt, J.D.; Hunt, M.O. (1982). Creep of thick structural flakeboards in constant and cyclic humidity. For. Prod. J. 32(5):49-54.*

\* *Pierce, C.B.; Dinwoodie, J.M. (1977). Creep in chipboard. Part I: Fitting 3 and 4 element response curves to creep data. Journal Mat. Sci. 12:1955-1960.*

\* *Pierce, C.B.; Dinwoodie, J.M.; Paxton, B.H. (1979). Creep in chipboard. Part 2: the use of fitted response curves for comparative and predictive purposes. Wood Sci. Technol. 13:265-282.*

\* *Pierce, C.B.; Dinwoodie, J.M.; Paxton, B.H. (1985). Creep in chipboard. Part 5: an improved model for prediction of creep deflection. Wood Sci. Technol. 19:83-91.*

\* *Pierce, C.B.; Dinwoodie, J.M.; Paxton, B.H. (1986). Creep in chipboard. Part 6: time to failure analysis under steady state conditions. Wood Sci. Technol. 20:281-292.*

\* *Schniewind, A.P. (1968). Recent progress in the study of the rheology of wood. Wood Sci. Technol. 2(3):188-206.*

\* *Schniewind, A.P.; Lyon, D.E. (1973). Further experiments on creep-rupture life under cyclic environmental conditions. Wood and Fiber 4(4):224-241.*