

Comportamiento reológico de los tableros MDF sometidos a condiciones de humedad relativa

Comparación con el tablero de partículas e influencia del recubrimiento melamínico de caras y cantos

Dr. Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco y Dr. M. Rafael Díez Barra
CIFOR-INIA, Área de Industrias Forestales, Apartado 8.111
28080 Madrid

Se efectúan ensayos reológicos sobre tableros comerciales MDF de 19 mm de espesor, desnudos y recubiertos con melamina de 80 g/m². Los ensayos se efectúan en condiciones cíclicas de humedad relativa (30%-90%) y fijas de temperatura (20°C), empleándose 3 niveles diferentes de tensión (20%, 30% y 40%) y aplicándose la carga en punto medio. La fluencia relativa de los tableros MDF resulta ser superior a la de tableros de partículas de similares características, influyendo de forma muy eficaz el revestimiento melamínico de las caras aunque no el de los cantos, salvo si ambos están combinados. Se discute sobre la conveniencia de efectuar la comparación del comportamiento reológico de los tableros MDF y de partículas tomando como base la fluencia relativa.

Introducción

Un notable esfuerzo ha sido realizado en el estudio empírico y posterior modelización del comportamiento reológico de la madera (Holzer et al., 1989) y de los tableros de madera (Dinwoodie y Bonfield, 1995), especialmente de partículas (Dinwoodie et al., 1990). Sin embargo, pocos trabajos (Boehme, 1992) han sido publicados hasta el momento sobre el comportamiento reológico de los tableros MDF y menos, aún, sobre la influencia que en este comportamiento puede tener el recubrimiento superficial (Fernández-Golfín y Díez Barra, 1992; Bach, et al., 1993).

Dinwoodie y Bonfield (1995) afirman que el tablero MDF presenta una mayor propensión hacia la fluencia conforme la humedad relativa aumenta. Esta propensión resulta ser mayor que en tableros de partículas. Boehme (1992) comprobó sobre tableros comerciales MDF de 19 mm de espesor y trabajando en condiciones cíclicas semanales de 20%/30%-20%/85% una clara mayor tendencia a la fluencia, medida en términos de fluencia relativa, que en tableros de partículas.

Fernández-Golfín y Díez Barra (1992) estudiaron la influencia de un revestimiento tradicional (80 g/m²) de tipo melamínico sobre el comportamiento reológico del tablero de partículas de UF, concluyendo que la aplicación de revestimientos de este tipo reducía la fluencia relativa y aumentaba el tiempo hasta la rotura. Similares conclusiones obtuvo Bach et al. en 1993, aplicando productos repelentes al agua.

El empleo habitual de condiciones alternantes de humedad relativa (30%-90%) en trabajos de esta naturaleza sobre tableros, surge de la comprobación en numerosos estudios, sobre todo en tableros de partículas (Bryan, 1960; Kufner, 1970; Gressel 1972 y 1984, Armstrong y Grossman 1972, Halligan y Schniewind 1972; Haygreen et al., 1975; Lehmann, 1978; Lehmann et al., 1975; McNatt y Hunt, 1982; Chow, 1982, Dinwoodie et al., 1985, 1992a y b; etc.), que bajo estas condiciones la fluencia es varias veces superior que en condiciones constantes a 20%/65% y significativamente superior que en condiciones sostenidas de 20%/90%. Esta afirmación está sometida a controversia ya que de algunos resultados parece deducirse

Investigación

la conclusión contraria, si bien no todos los estudios efectuados sobre el tema son siempre estrictamente comparables (Dinwoodie y Bonfield, 1995).

Por otra parte, Dinwoodie et al. (1992a) demostraron que las condiciones exteriores protegidas afectan a la fluencia relativa de los tableros de partículas de una forma muy similar que las estáticas a 20^o/90%. Pese a su menor rudeza, es de destacar el creciente interés sobre estas condiciones al corresponder con la clase 2 del Eurocódigo 5.

La realización del ensayo bajo condiciones no estables de humedad relativa permite introducir en el estudio del comportamiento reológico de los materiales la variable de su diferente comportamiento a la sorción.

Respecto de las condiciones cíclicas de temperatura, Dinwoodie (1992b) demostró la mayor sensibilidad del tablero ante las condiciones alternantes de humedad que de temperatura, si bien ha sido demostrado también el incremento que en la deformación producen las condiciones cíclicas de temperatura.

Cuando comenzamos el presente trabajo sobre tableros MDF (1992), no encontramos evidencia bibliográfica alguna que permitiera hacer pensar que las condiciones alternantes de humedad relativa no produjeran en el comportamiento reológico de estos tableros un efecto similar que en tableros de partículas, lo que posteriormente se demostró que no era del todo cierto.

Cualitativamente el comportamiento reológico general es similar en la madera que en el tablero pero ambos materiales difieren en su respuesta ante los fenómenos de sorción y de desorción. La principal diferencia estriba en que en la madera la deformación durante la desorción aumenta, mientras que en el tablero disminuye ligeramente, dándose el fenómeno contrario en la sorción, si bien la flecha total al final de un ciclo completo sorción/desorción positivo aumenta (Fernández-Golfín, Díez Barra, 1992).

Este proceso de alternancias de flecha por condiciones cíclicas tanto de humedad como de temperatura parece amortiguarse en la madera con el tiempo hasta el punto de que al año resulta imperceptible (Hall y Haygreen 1978). Este fenómeno de amortiguación fue también constatado a partir de la semana 18, en

tableros de partículas UF y MUF y para niveles de tensión del 20% y 30%, por Fernández-Golfín y Díez Barra (1992).

La alternancia de flechas en tableros MDF, más acusada y temprana que en tableros de partículas, ha sido puesta de manifiesto por Boehme (1992), si bien este trabajo no aporta datos sobre el final del proceso de alternancia, al detener las condiciones cíclicas en la semana 23. Por ello nada se puede concluir de este estudio sobre el momento a partir del cual tiene lugar la aparición del fenómeno amortiguador, antes citado, de la reacción ante los cambios de humedad del medio.

Aún cuando el tipo de cola es una variable habitual en los estudios sobre tableros de partículas (Dinwoodie y Bonfield, 1995), no ha sido empleada en el presente trabajo con MDF, ya que la presencia en el mercado, al menos en España, de tableros MDF con otro

tipo de cola distinto al de UF es prácticamente nula.

Material y métodos

Se utilizaron tableros comerciales MDF de 19 mm, desnudos (D) y recubiertos superficialmente con melamina de 80 g/m² (M). El tablero recubierto (M) se preparó por recubrimiento en fábrica de los tableros desnudos (D).

Para comprobar la influencia que la limitación en el intercambio de humedad por los cantos pueda tener en el comportamiento reológico del material, parte de las probetas de ensayo de los tableros D y M fueron, a su vez, canteadas mediante la aplicación de colas de contacto y de perfiles industriales de tipo plástico, obteniéndose otros dos tipos diferentes de material de ensayo, denominados C (por canteado del tablero D) y B (por canteado del tablero M). El resumen y características de los materiales de ensayo

Tabla 1
Características del material de ensayo

TABLERO	RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL	RECUBRIMIENTO DE CANTOS
D	NO	NO
C	NO	SI
M	SI	NO
B	SI	SI

Tabla 2
Propiedades iniciales de los tableros

PROPIEDAD	TAMAÑO PROBETA (mm)	NORMA ENSAYO	TABLERO	
			D	M
Peso específico	100x100x19	UNE 56.709	709	-
Humedad (%)	50x50x19	UNE 56.710	7.7	7.8
MOR (kg/cm ²)	525x50x19	UNE 56.711	347	283
MOE (kg/cm ²)	525x50x19	UNE 56.711	30,300	36,300
RTP*(kg/cm ²)	50x50x19	UNE 56.712	7.2	6.3

* Resistencia a la tracción perpendicular

Tabla 3
Pesos aplicados (kg), según niveles de tensión y tipo de tableros

Nivel de tensión	Tipo de tablero			
	D	C	M	B
40%	35.2	35.2	28.8	28.8
30%	26.4	----	21.6	----
20%	17.6	----	14.4	----

figura en la tabla 1.

La tabla 2 recoge un resumen de las propiedades iniciales de los tableros D y M, obtenidas de acuerdo con los procedimientos y tamaños de probetas descritos por las normas UNE correspondientes.

El sistema de aplicación de carga y la metodología general del proceso son los mismos que los empleados en el trabajo previo (Fernández-Golfín y Díez Barra, 1992) sobre tableros de partículas permitiendo de esta manera la comparación de los resultados obtenidos con ambos tipos de tableros.

Para cada tipo de tablero (D, C, M y B) y nivel de tensión¹ aplicado (ver tabla 3), se ensayaron 4 probetas de 525x50x19 mm, idénticas a las utilizadas para el ensayo previo a flexión, estudiándose tanto la evolución de la flecha como el tiempo hasta la rotura del material.

Los ensayos sobre el material marcado como C y B, al nivel único de tensión del 40%, tenían como misión conocer la influencia que la limitación del proceso de intercambio de humedad por los cantos introduce en el proceso de la fluencia.

Niveles de tensión superiores (50% y 60%) fueron considerados únicamente para la modelización del tiempo hasta la rotura.

Durante la primera semana de medidas, la cámara fue mantenida a 20°/65%, pasando a partir de este momento a un programa cíclico 20°/30%-20°/90%, empezando por la condición seca (30%). Los cambios de humedad se efectuaron después de cada medición semanal.

La revisión del estado físico de las probetas (tiempo hasta la rotura) se efectuó dos veces al día durante las dos primeras semanas, diariamente hasta la 6ª, dos veces a la semana hasta la semana 27ª y semanalmente a partir de ese momento.

Paralelamente al proceso de medición semanal de la flecha y sobre probetas idénticas a las de ensayo (525x50x19) se determinó, por pesada, la variación del contenido de humedad.

Resultados y discusión

Estudio de las deformaciones

La tabla 4 recoge un resumen de las flechas absolutas y relativas (en paréntesis)² para los niveles de tensión del 20 y 30% y los tableros

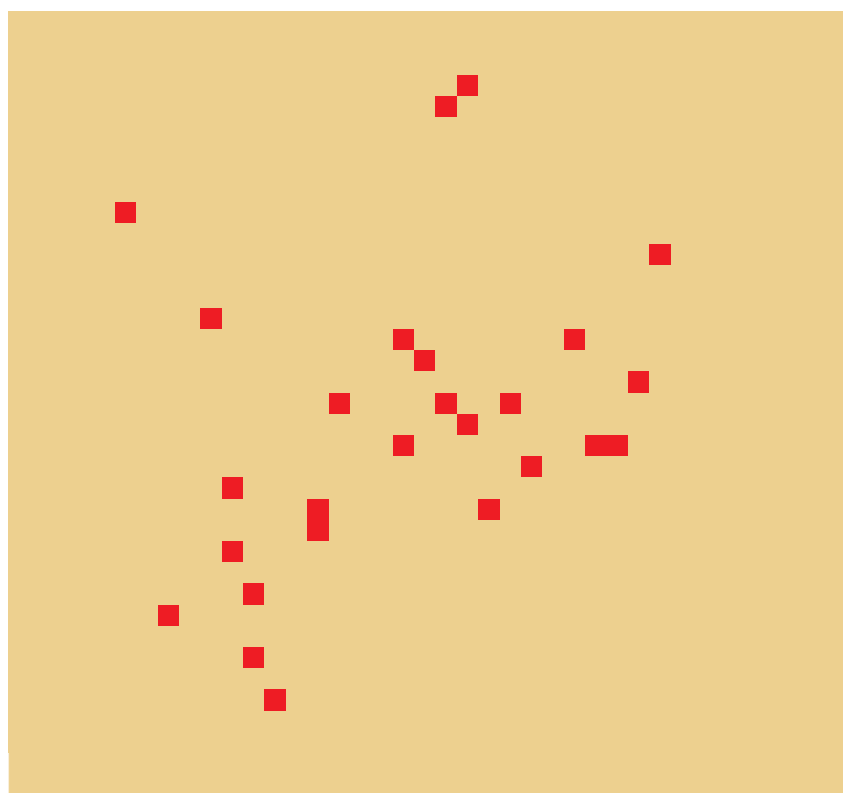


Tabla 4
Resumen de resultados de evolución de flecha absoluta (mm) y relativa (en paréntesis), para ambos tipos de tableros.

Tiempo (min)	Partículas		MDF		Desnudo		Melamina	
	Desnudo		Melamina		Desnudo		Melamina	
	Solicitud(*)		Solicitud(*)		Solicitud		Solicitud	
	20%	30%	20%	30%	20%	30%	20%	30%
	(8)	(12)	(8.5)	(12.8)	(17.6)	(26.4)	(14.4)	(21.6)
50400	21.36	27.16	11.55	14.35	20.32	35.41	15.32	22.06
	(1.8)	(2.16)	(0.44)	(0.6)	(1.09)	(1.86)	(0.77)	(1.11)
151200	23.85	31.19	12.22	15.60	31.01	77.53	19.82	31.14
	(2.13)	(2.63)	(0.52)	(0.74)	(2.20)	(5.26)	(1.29)	(1.98)
201600	28.21	38.07	12.88	17.08	33.88	-	20.74	33.83
	(2.70)	(3.43)	(0.61)	(0.91)	(2.49)		(1.4)	(2.24)
262080	32.54	46.98	13.92	19.18	39.76	-	22.27	37.33
	(3.26)	(4.46)	(0.74)	(1.03)	(3.10)		(1.57)	(2.58)
Rotura	No	267040	No	345600	No	167880	No	1068480

(*) Debajo del nivel de tensión y entre paréntesis figura la carga absoluta, en kg, aplicada, que corresponde a dicho nivel de sollicitación.

Tabla 5
Variación del contenido de humedad de las probetas de ensayo

Tablero	90%	30%
D	9.9	6.3
C	9.7	6.1
M	9.6	6.3
B	8.4	7.4

D y M, así como, con fines comparativos, un resumen de los resultados de un estudio anterior (Fernández-Golfín y Díez Barra, 1992) con tablero de partículas.

Las figuras 1a y 1b recogen para los cuatro tipos de tableros y de forma gráfica la evolución de la flecha absoluta con el tiempo.

Del análisis de las figuras 1a y 1b y de los datos de la tabla 4, se pone de manifiesto que el recubrimiento de las caras (tablero M) y cantos (tablero B) transforma radicalmente el material al disminuir de forma clara el valor de la fluencia relativa. Se observa, así mismo, que el simple recubrimiento de los cantos (Tablero C) no modifica significativamente el comportamiento del tablero base (D).

El análisis de la humedad de equilibrio higroscópico de las probetas de ensayo (tabla 5) permite observar que hay muy poca diferencia entre los tableros D y C, que el tablero M presenta valores similares a los vistos para los tableros D y C y que el tablero B presenta un comportamiento acusadamente diferente, lo cual confirma que el recubrimiento simultáneo de caras y cantos modifica radicalmente el comportamiento del tablero.

De lo anterior se pone en evidencia que el recubrimiento melamínico de las caras influye de forma significativa en el comportamiento reológico del tablero base por modificación de las características mecánicas de este material pero no por modificación del comportamiento a la sorción/desorción, ya que los contenidos de humedad de los tableros D y M son similares. Por otra parte, es evidente la influencia que en el fenómeno reológico tiene el contenido de humedad del tablero y su variación, ya que tablero B, con contenidos de humedad muy inferiores y estables, presenta un comportamiento reológico muy superior al del resto de tableros (C, D y M).

Un análisis del proceso de alternancia de flechas (Fig 2), inducido por los cambios de humedad relativa del medio, evidencia un comportamiento del tablero MDF ligeramente diferente que el de tablero de partículas. Estas diferencias pueden resumirse como sigue:

- El comienzo de la alternancia de flechas en MDF es muy anterior (2ª semana) que en tablero de partículas (7ª-8ª semana).

FIGURA.1 Evolución de la flecha absoluta (a) Tableros B C D y M al 40% de tensión. (b) Tableros D y M para los niveles de tensión del 20 y 30%.

Tabla 6
Resultados del ajuste del modelo a la evolución de la flecha

Tablero	A	B	C	R ²
M	10.376±0.24	1.547±0.034	-0.015±0.0009	99
D	4.654±0.53	4.77±0.165	-0.039±0.0089	99

- En las primeras semanas (2ª a 18ª) el fenómeno de alternancia de flechas es similar al observado en tablero de partículas.

A partir de la semana 31ª se observa una inversión del fenómeno de alternancia, apareciendo una recuperación de la deformación tras cada ciclo húmedo. Se observa, también, una intensificación del proceso de alternancia (diferencia entre flecha máxima y mínima en cada ciclo) conforme avanza el experimento.

Entre ambas fases (semanas 18ª a 31ª, para un nivel de tensión del 20%) se produce un comportamiento casi lineal en el que el proceso de alternancia de flecha es muy reducido.

Tras cada ciclo completo (sorción/desorción) el valor de la deformación absoluta aumenta en todos los casos.

La aparición del fenómeno de recuperación de flecha en la fase húmeda se retrasa con la aplicación de los recubrimientos de cara (tablero M) y completos (tablero B).

No se han encontrado referencias bibliográficas de este fenómeno en otros autores y, de momento, no tenemos explicación al fenómeno observado, si bien podemos avanzar la hipótesis de que la inversión del proceso de alternancia detecta el comienzo de una fase de rotura incontrolada del material.

El análisis de los datos correspondientes a los mayores niveles de tensión (40%), en los que aparece claramente la fase terciaria, o de rotura incontrolada del material, permite observar que el modelo general propuesto por Laufenberg (1988) es muy apropiado para la explicación general del proceso. La cierta complejidad observada en el comportamiento reológico de los tableros MDF se traduce en una fase secundaria no lineal al estar compuesta, a su vez, por varios tramos asumibles como lineales.

De los datos de la tabla 4 y de la figura 2, se puede deducir que, a igualdad de nivel de tensión aplicada, la deformación del tablero MDF es siempre superior que la del tablero de partículas, si bien el comportamiento es justamente el contrario que cuando el análisis se efectúa teniendo sólo en cuenta la carga (kg) aplicada. De aquí se deduce que cuando la comparación se hace considerando el mismo nivel tensional, los tableros MDF presentan comparativamente un peor

FIGURA. 2 Comparación de la deformación absoluta en tableros de partículas y MDF, para un nivel de tensión del 20%.

comportamiento que los de partículas, lo que no ocurriría si se hiciera uso del mismo nivel de carga absoluta aplicada (kg). Este fenómeno es evidente tanto si se hace uso de la flecha absoluta como de la fluencia relativa (valores entre paréntesis en la tabla 4).

Modelización de la curva deformación-tiempo

Sobre los datos de deformación absoluta hasta la semana 42 (Fig. 2), en mm, se intentó infructuosamente el ajuste de un modelo matemático del tipo $1/\text{flecha} = a + b \cdot \text{tiempo}$, empleado ya anteriormente con tableros de partículas (Fernández-Golfín y Díez Barra, 1992).

Después de varios intentos con diversos modelos matemáticos, el que aportó un grado de ajuste más satisfactorio resultó ser el siguiente:

$$Y = A \cdot B \cdot t \cdot C \cdot t^2$$

donde Y representa la flecha absoluta, en mm, y t el tiempo en horas.

La tabla 6 recoge los valores de los parámetros de dicha función y los coeficientes de determinación del modelo matemático ajustado a los datos de evolución de la flecha con el tiempo para los tableros D y

M y un nivel de sollicitación del 20%.

Un análisis comparativo de los datos obtenidos con el tablero MDF y con el de partículas, permite observar que mientras el modelo propuesto para tableros de partículas tenía una marcada concavidad (debido probablemente a la temprana aparición de la fase terciaria o de rotura incontrolada del material), el propuesto para tableros MDF presenta convexidad. Este diferente comportamiento de la deformación se explica por la mayor sensibilidad del tablero de partículas ante las condiciones de humedad relativa alternantes.

Mediante un experimento en paralelo y cuyo detalle será objeto de una publicación posterior, se pudo comprobar que el tablero de partículas presenta una velocidad de ganancia y pérdida de humedad del medio muy superior a la del tablero MDF, lo que hace que las condiciones de humedad relativa alternantes de corta duración le sean mucho más agresivos. Si, por el contrario, se consideran condiciones húmedas (90%) de larga duración, la ganancia total de humedad y la consiguiente degradación físico-mecánica del tablero es muy superior en tableros MDF que en tableros de partículas.

Lo anterior justifica que las

Investigación

condiciones más duras a las que puede verse sometido un tablero MDF son las que implican una humedad relativa alta y mantenida en el tiempo. Por tanto, si se deseara realizar el ensayo reológico de estos tableros en las condiciones más desfavorables, debería hacerse con una humedad relativa del 90%.

El hecho de que las condiciones alternantes del medio no sean tan agresivas para el tablero MDF como para el tablero de partículas puede explicar su diferente comportamiento reológico y la imposibilidad del ajuste del modelo lineal propuesto en anteriores estudios (Fernández-Golfín y Díez Barra, 1992).

Conclusiones

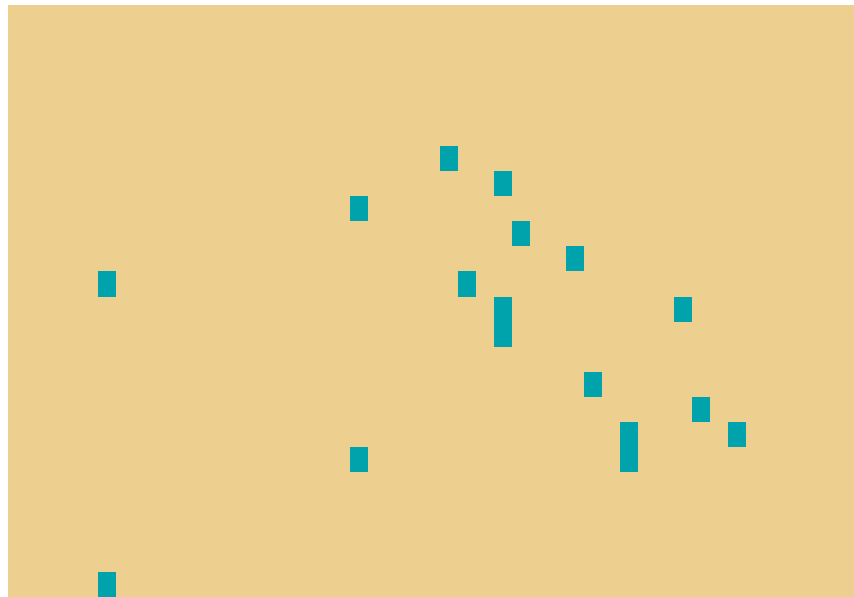
1.- Al igual que con tablero de partículas, el nivel de sollicitación aplicado influye decisivamente en el comportamiento reológico de los tableros MDF, acortando su vida en servicio y aumentando la velocidad de la deformación al aumentar el nivel de tensión.

2.- La propensión hacia la fluencia, en las condiciones de estudio, es más marcada en tableros MDF que en tableros de partículas cuando la comparación se efectúa considerando el mismo nivel de tensión. Cuando la comparación se efectúa considerando la misma carga absoluta aplicada (kg) el resultado es justamente el contrario.

3.- La propensión hacia la fluencia, medida ésta tanto en términos de flecha absoluta como de flecha relativa, queda significativamente reducida mediante la aplicación de revestimientos superficiales melamínicos de tipo tradicional. El recubrimiento es también muy eficaz en el amortiguamiento del fenómeno de alternancia de flecha que se produce como consecuencia de los ciclos de sorción/desorción inducidos en el tablero por la ejecución de los ciclos de humedad relativa (30%-90%).

4.- El recubrimiento con melamina de los cantos (tablero C) no modifica el comportamiento reológico de los tableros, salvo cuando se combina con el recubrimiento de las caras (tablero B).

5.- El modelo lineal del tipo $f = a + bt$, aplicado con éxito en la



predicción de la flecha en los tableros de partículas, desnudos y revestidos, se ha mostrado inadecuado con los tableros MDF. Para estos últimos ha quedado demostrada la aplicabilidad del modelo de tipo polinómico:

$$Y = A \cdot B \cdot t \cdot C \cdot t^2$$

6.- El fenómeno de la alternancia de la flecha ante los ciclos de sorción/desorción sufridos por el tablero, aunque más temprano, sigue el mismo patrón que en tableros de partículas (flecha aumentando en la fase de sorción) hasta, como media, la semana 18, momento a partir del cual se invierte ligeramente, siguiendo un patrón muy similar al de la madera maciza. Se aventura la posibilidad de que este fenómeno sea debido a la inminencia de un cambio de fase hacia una fase final o de rotura incontrolada del material.

7.- De los datos existentes parece deducirse que para los tableros MDF ensayados las condiciones fijas de 20%/90% son más agresivas que las alternantes de 20%/30%-20%/90%.

8.- Como conclusión final y resumen de todas las anteriores, y del trabajo mismo, puede decirse que el tablero MDF NO es peor que el de partículas, sino que aparentemente resulta peor si el patrón de comparación es el mismo (nivel de tensión) al que tradicionalmente ha sido usado para el tablero de

partículas. Puede decirse que a igualdad de espesor el tablero MDF aguanta más carga (kg) y durante más tiempo, si bien las condiciones de humedad relativa elevada y mantenida en el tiempo le afectan más negativamente, aunque no ocurre lo mismo con las condiciones alternantes. Por todo ello sólo deberán considerarse precauciones especiales en los ambientes húmedos sostenidos (por ejemplo al borde del mar, en piscinas, etc.). Finalmente debe decirse que el recubrimiento melamínico, al igual que ocurría con el tablero de partículas, protege muy eficazmente al tablero, alargando su vida y haciendo que se deforme notablemente menos.

BIBLIOGRAFIA

- * Armstrong, L.D.; Grossman, P.U.A. (1972). The behaviour of particleboard and hardboard beams during moisture cycling. *Wood Sci. Technol.* 6:128-137.
- * Bach, L.; Zhao, N.W.; Cheng, J.J.R. (1993). Surface coating can reduce creep of oriented strandboard. *Forest Prod. Journal* 43(6):43-44.
- * Boehme, C. (1992). Creep behaviour of UF bonded MDF. *Holz als Roh- und Werkstoff.* 50:158-162.
- * Bryan, E.L. (1960). Bending strength of particleboard under long-term load. *For. Prod J.* 10(4):200-205.
- * Chow, P. (1982). Bending creep behaviour of Acer saccharum marsh veneered medium density fibreboard composite. *Wood Sci. Technol.*

16(3):203-213.

* Dinwoodie, J.M.; Paxton, B.H.; Pierce, C.B.; Aloysius, E.J. (1985). Quantification and prediction of creep in particleboard and other wood-based sheet materials. In Proceedings of the Symposium Forest Products Research International, achievements and future, Pretoria, April 1985.

* Dinwoodie, J.M.; Higgins, J.A.; Paxton, B.H.; Robson, D.J. (1990). Creep research on particleboard. Holz als Roh- und Werkstoff 48: 5-10.

* Dinwoodie, J.M. et al. (1992a). Creep in chipboard. Part 10: The effect of variable climate of the creep behaviour for a range of chipboards and one waferboard. Wood Sci. Technol. 26: 39-51.

* Dinwoodie, J.M. et al. (1992b). Creep in chipboard. Part 11: The effect of cyclic changes in moisture content and temperature on the creep behaviour for a range of boards at different levels of stressing. Wood Sci. Technol. 26: 429-448.

* Dinwoodie, J.M.; Bonfield, P.W. (1995). Recent european research on the rheological behaviour of wood based panels. In Proceedings of the COST 508 Workshop March 1995.

* Fernández-Golfín, J.I.; Díez Barra, M.R. (1992). Langzeitverhalten von Spanplatten unter variablen Feuchtebedingungen. Untersuchung des Einflusses von Beschichtungen und Klebstoffen. Holzforschung und Holzverwertung 44(6):106-110.

* 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). Prediction of long-term deformation behaviour from short-term creep experiments. Holz Als Roh- und Werks. 42:293-301.

* Hall, H.; Haygreen, J. (1978). Flexural creep of 5/8 inch particleboard and plywood during 2 years of concentrated loading. For. Prod. J. 28(6):19-22.

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

* Haygreen, J.H.; Hall, K.; Yang, N.; Sawicki, R. (1975). Studies on flexural creep behaviour in particleboard under changing humidity conditions. Wood Fiber Sci. 7(2):74-90.

* Holzer, S.M.; Loferski, J.R.; Dillard, D.A. (1989). A review of creep in wood: concepts relevant to develop log-term behaviour predictions for wood structures. Wood and Fiber Science 21(4): 376-392.

* Kufner, M. (1970). Das kriechen von holzspanplatten bei langzeitiger biege

beanspruchung. Holz Als Roh- und Werks. 28:429-446.

* Laufenberg, T.L. (1988). Composite products rupture under long-term loads: a technology assessment. Proceedings 22nd International particleboard/ composite materials Symp. Pullman, W.A. Washington State Univ. pp:247-256.

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

* Lehmann, W.F. (1978). Cyclic moisture conditions and their effect on strength and stability of structural flakeboards. Forest Prod. Journal 28(6): 23-31.

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

NOTAS

¹ Se entiende por nivel de tensión al cociente, expresado en %, entre la carga aplicada y la carga máxima que el tablero es capaz de resistir, determinada en los ensayos iniciales

² Se entiende por flecha, relativa o fluencia relativa al incremento unitario de la flecha con respecto a la elástica inicial. Esta última se considera que es la flecha a los 30 segundos (d_0). La expresión de cálculo será, pues: $(d_t - d_0)/d_0$