

Predicción del tiempo hasta la rotura a flexión de tableros de partículas sometidos a condiciones cíclicas de humedad relativa

Predicting time to failure in bending of wood particleboards under cyclic humidity conditions

J. I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO y M. R. DÍEZ BARRA
CIT-Dep. Ind. Forestales. INITAA, Madrid
ESPAÑA

Fecha de recepción: 3-III-92.

RESUMEN

Los ensayos para observar el tiempo de rotura bajo carga constante (30, 40, 50 y 60 % de los niveles) fueron llevados a cabo sobre cuatro tableros diferentes de 19 mm de espesor, constando de tres capas: dos de ellas sin recubrir (unidas mediante UF y MUF) y la restante fue cubierta mediante melamina (80 g/m²) y chapada (Mukally).

Los ensayos fueron realizados bajo condiciones cíclicas de humedad (30 % - 90 %), a 20° C y durante 7 días para cada caso.

Se registró el tiempo de rotura, adaptándose a modelos matemáticos para predecir el tiempo de rotura.

El recubrimiento con melamina reduce los errores previstos y aumenta el tiempo de rotura.

SUMMARY

Time to failure tests under constant load (30, 40, 50 and 60 % stress levels) were conducted on four different 19 mm thick particleboards with three layers. Two of them were uncoated (UF and MUF bonded) and the rest were melamine (80 g/m²) and veneer (Mukally) overlaid.

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

Time to failure was recorded, fitting mathematical models to predict time to failure.

Melamine coating reduces predicting errors and increases time to failure.

INTRODUCCIÓN

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).

INTRODUCTION

The viscoelastic behaviour of wood under moisture change has been the subject of many reports (Bryan 1960, Kufner 1970, Gressel 1972, Armstrong y Grossman 1972, Halligan y Schniewind 1972, Haygreen et al 1975, Hunt 1976, Lehmann et al 1975, Dinwoodie et al 1981, McNatt y Hunt 1982, Gressel 1984, Dinwoodie et al 1984, etc).

Las investigaciones llevadas a cabo demuestran que en condiciones cíclicas de humedad relativa, normalmente entre el 25 y el 95 %, la fluencia es mayor y el tiempo hasta la rotura menor que en condiciones constantes.

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

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.

Los tableros fueron sometidos a niveles de tensión a flexión del 30, 40, 50 y 60 %, determinados en función de la carga última de rotura a flexión.

La carga última a flexión de cada tablero fue determinada previamente de acuerdo con UNE 56.711. Para cada nivel de tensión y tablero se emplearon tres probetas, obtenidas de acuerdo con UNE 56.711 y UNE 56.708. Previamente a la realización del ensayo todos los materiales y equipos fueron acondicionados a 20/65 durante 21 días. Pasados estos 21 días se procedió a colocar las cargas, manteniendo fijas las condiciones de 20° C/65 %. Estas condiciones se mantuvieron durante una semana.

Finalizada esta primera semana se pasó a realizar los ciclos climáticos previstos, empezando por el más seco (20° C/30 %) y siguiendo por el húmedo (20° C/90 %). Diariamente se comprobó el estado de las probetas, anotando el momento de la rotura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tiempos hasta la rotura, en minutos, en función del tipo de tablero y del nivel de sollicitación quedan recogidos en la tabla 3.

A estos datos fue ajustado el modelo $\log T = A + BY$ (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 3), que se producen al trabajar con la transformada logarítmica, fueron bastante elevados (-84 % a 513 %).

It has been shown that the viscoelastic behaviour under cyclic humidity conditions and constant load differed from the behaviour under constant moisture and constant load. In this way, the strain in cyclic conditions is larger and the time to failure shorter than in constant humidity conditions.

The difference in the viscoelastic behaviour between both conditions in every panel depends on the different sorption behaviour of the panels, due to the fact that this different behaviour influences the moisture content of the panel and its evolution with time.

MATERIAL AND METHODS

Test samples were prepared from two commercially available particleboards. Details of the materials are provided in Table 1. Panels C and D were prepared overlaying panel A with the appropriate material (veneer and melamine).

Test samples were stressed in a 3-point flexural mode (according to UNE 56.711) to four different levels, 30 %, 40 %, 50 % and 60 % of the short term failing stress derived from tests carried out in constant conditions (20° C and 65 % Hr).

For every stress level and panel three test samples were used to determine time to failure. Up to ten test samples per panel were used to determine short term failing stress.

Prior to loading, the specimens and devices (including loads and frames) were conditioned at 20° C and 65 % Hr during 21 days.

All of the tests were performed in the controlled humidity room in which the material had been conditioned. The testing was started by loading, under 20° C/30 % conditions, the three test samples per panel and stress level. Every week the conditions of the controlled humidity room were changed from 20° C/30 % to 20° C/90 %. Daily the failures in the test specimens were recorded. This procedure was followed until all of the test samples were failed.

RESULTS AND ANALYSIS

The times to failure, in minutes, and stress levels for all specimens of the four board types are shown in Table 3.

A linear regression, $\log T = A + BS$ (McNatt 1975), was fitted to the data, taking the percentage stress level as the independent variable and the logarithm of time to failure as the dependent variable. Even though $R^2 \geq 0.94$, errors in predicting final time to failure, in percentage (see Table 3), were quite high (-84 % to 513 %).

TABLA 1
Material de ensayo

Clave	Tipo	Tablero	Recubrimiento	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

TABLE 1
Material specification

Code	Board	Type	Thickness (mm)	Glueing	Overlayd
A	Standard	3-layer	19	UF	No
B	Moisture resistant	3-layer	19	MUF	No
C	Standard	3-layer	19	UF	Veneer
D	Standard	3-layer	19	UF	Melamine

TABLA 2
Ajuste del modelo parabólico (T variable dependiente)

Tablero	A	B	C	R ²
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

TABLE 2
Fittings of parabolic model (T dependent variable)

Board type	A	B	C	R ²
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

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

In order to improve the prediction of final time to failure and to reduce % of error in this prediction a model in real time was used.

$$T = 10.000 \left[\left(\frac{10 A}{S} + B \right)^{(1/C)} \right]$$

donde:

T: tiempo hasta la rotura en minutos.
S: nivel de sollicitación en %.
A, B y C: constantes.

La tabla 2 recoge los valores de las constantes A, B y C de este modelo así como los ajustes obtenidos.

Where:

*T: time to failure in minutes.
S: stress level in %.
A, B y C: constants.*

Estimated parameters, A, B and C and R² values, in this parabolic model, can be shown in Table 2.

TABLA 3
Comparación de valores observados y predichos por modelos

Tablero	Tensión (%)	Valor observado (min)	Valor predicho en ajuste		Error en predicción	
			Parabólico (min)	Lineal (min)	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	+ 2,4	+ 262
	40	195840	163507	210185	— 16,5	+ 7
	50	73440	83720	35053	+ 14	— 52
	60	24480	45386	5846	+ 85	— 76
C	30	160000	159796	980219	— 0,1	+ 513
	40	53640	56267	162811	+ 5	+ 203
	50	28800	27834	27042	— 3	+ 6
	60	22080	16735	4492	— 24	— 80
D	30	345600	345148	1026375	— 0,1	+ 197
	40	118560	120633	177214	+ 2	+ 49
	50	58560	54469	30598	— 7	— 48
	60	28800	28896	5283	+ 0,3	— 82

TABLE 3
Times to failure and predicting values per model

Board type	Stress level (%)	Actual time to failure (min)	Predicted value per model		Predicting errors	
			Parabolic (min)	Linear (min)	Parabolic (%)	Linear (%)
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	+ 2,4	+ 262
	40	195840	163507	210185	— 16,5	+ 7
	50	73440	83720	35053	+ 14	— 52
	60	24480	45386	5846	+ 85	— 76
C	30	160000	159796	980219	— 0,1	+ 513
	40	53640	56267	162811	+ 5	+ 203
	50	28800	27834	27042	— 3	+ 6
	60	22080	16735	4492	— 24	— 80
D	30	345600	345148	1026375	— 0,1	+ 197
	40	118560	120633	177214	+ 2	+ 49
	50	58560	54469	30598	— 7	— 48
	60	28800	28896	5283	+ 0,3	— 82

La tabla 3 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.

CONCLUSIONES

Del análisis de los datos de las tablas 2 y 3, se deducen las siguientes conclusiones:

- 1.^a El modelo propuesto ha demostrado un notable menor error de predicción que el lineal-logarítmico.
- 2.^a 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.
- 3.^a Los recubrimientos superficiales, y especialmente el melamínico, reducen los errores de predicción y alargan la vida en servicio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.^a Para la predicción de la vida en servicio y de la pérdida de resistencia con el tiempo de un tablero queda demostrada la aplicabilidad del modelo parabólico

$$T = 10.000 [(10A/S + B)^{(1/C)}]$$

el cual presenta con 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.

- 2.^a 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.

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

Predicting errors (in %) with this parabolic model can be shown in Table 3. Even though these predicting errors can be, sometimes, quite high are much lower than the obtained with the linear model.

CONCLUSIONS

Result of this study can be summarized as follows:

1. *The proposed model has demonstrated lower predicting errors than the traditional linear model.*
2. *Predicting errors are better with the lower stress levels (30, 40 and 50 %). These lower stress levels are much common in real practice than the upper levels.*
3. *Melamine coating reduces predicting errors and increases time to failure. This effect is also visible with veneer coatings but in a lower amount.*

.....

- 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.

REFERENCIAS (REFERENCES)

- (1) ARMSTRONG, L.D.; GROSSMAN, P.U.A. (1972): The behaviour of particleboard and hardboard beams during moisture cycling. *Wood Sci. Technol.* 6:128-137.
- (2) BRYAN, E.L. (1960): Bending strength of particleboard under long-term load. *For. Prod. J.* 10(4):200-205.
- (3) DINWOODIE, J.W.; 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.
- (4) 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.
- (5) 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.
- (6) GRESSEL, P. (1984): Long-term particleboard performance under load. FESYP 42nd meeting Technical Commission. pp: 67-85.
- (7) HALLIGAN, A.F.; SCHNIEWIND, A.P. (1972). Effect of moisture and creep properties of particleboard. *For. Prod. J.* 22(4):41-48.
- (8) 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.
- (9) HUNT, D.G. (1976): Rupture tests of wood chipboard under long term loading. *J. of Inst. Wood Sci.* 7(3):13-21.
- (10) KUFNER, M. (1970): Das kriechen von holzspanplatten bei langzeitiger biege beanspruchung. *Holz Als Roh-und Werks.* 28:429-446.
- (11) LEHMANN, W.; RAMAKER, T.J.; HEFTY, F.V. (1975): Creep characteristics of structural panels. *Proceedings 9th Washington State Univ. Symp. on particleboard.* pp: 151-172.
- (12) 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.
- (13) McNATT, J.D.; HUNT, M.O. (1982): Creep of thick structural flakeboards in constant and cyclic humidity. *For. Prod. J.* 32(5):49-54.
- (14) UNE 56.711: Tableros de partículas. Ensayos. Determinación de la resistencia a la flexión y del módulo de elasticidad. AENOR.