

ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN TABLEROS DE FIBRAS (MDF) Y DE PARTÍCULAS

PETER NIEMZ. (*) y HERNÁN POBLETE W. (**)

(*) Ingeniero Civil en Maderas. Doctor Ing., Profesor Huésped. Fac. Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia - Chile.

(**) Ingeniero Forestal. Doctor Cs. Forestales. Profesor Titular Fac. Ciencias Forestales Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia - Chile

RESUMEN

Se determinó la humedad de equilibrio luego del climatizado a diferentes humedades relativas del aire entre 40 % y 95 % en tableros de partículas y de fibras de densidad media (MDF) fabricados industrialmente. Luego del climatizado se determinaron las variaciones dimensionales longitudinales y en el espesor.

Las humedades de equilibrio y las variaciones dimensionales fueron menores en los tableros MDF. Al reacondicionar los tableros se pudo determinar que los del tipo MDF poseen una mayor estabilidad dimensional.

Palabras Clave: *Tableros MDF, Tableros de partículas, Humedad de equilibrio, Estabilidad dimensional.*

ABSTRACT

Equilibrium moisture content at relative air humidities between 40 % and 95 % of industrial manufactured MDF and Particleboards were determined. Longitudinal and thickness swellings were also measured.

The recorded equilibrium moisture and swelling of MDF boards were lower than those of Particleboard. A re-conditioning of the boards showed that MDF have a higher dimensional stability.

Keywords: *MDF, Particleboards, Equilibrium moisture, Dimensional Stability.*

INTRODUCCIÓN

Existen pocos estudios que traten el tema de la estabilidad dimensional y la humedad de equilibrio en tableros de fibras y de partículas.

NOACK Y SCHWAB (1986) informan que el hinchamiento longitudinal en tableros de partículas encolados con Ureaformaldehído, sufre variaciones de 0,035 % por cada 1 % de variación del contenido de humedad. En el caso de tableros encolados con Fenolformaldehído esta variación se reduce a 0,025 % por cada 1 % del contenido de humedad. Los mismos autores al determinar el hinchamiento en el espesor informan de variaciones de 0,45 % y 0,70 % por cada 1 % de contenido de humedad, para tableros de partículas con Ureaformaldehído y Fenolformaldehído, respectivamente.

Al estudiar tableros de partículas orientadas (OSB), LANG y LOFERSKY (1995) determinaron variaciones longitudinales de 0,22 % y 0,23 %, paralela y perpendicular a la dirección de las fibras en las caras, por cada 1 % de cambio en el contenido de humedad.

EURO-MDF-BOARD (1990) establece como norma, para tableros de fibras de densidad media con espesores de 12 a 19 mm, un aumento longitudinal máximo de 0,4 % al cambiar las condiciones climáticas de 35 % de humedad relativa del aire a 85%. Para el hinchamiento en el espesor EURO-MDF-BOARD (1990) establece como límite 6 %.

SUCHSLAND y XU (1989) determinaron que con humedades relativas superiores a 80 %, los tableros MDF presentan una estabilidad dimensional mayor a la de los tableros de partículas. Los mismos autores informan que la humedad de equilibrio máxima es algo inferior en MDF que en tableros de partículas (XU y SUCHSLAND, 1991).

En el presente trabajo se estudian cinco tipos de tableros MDF industriales confeccionados con *Pinus radiata* D. Don. encolados con Ureaformaldehído. Los tipos de tableros se diferencian por su densidad y espesor. Se incluyeron además dos tipos de tableros de partículas.

MATERIAL

Para la realización de los ensayos se consideraron tableros de fibra de densidad media (MDF) industriales del tipo liviano (MDF-L) y super liviano (MDF-SL), con densidades entre 460 y 600 kg/m³. Todos los tableros fueron formados con Ureaformaldehído. A estos paneles se agregaron dos tipos de tableros de partículas.

Las claves de identificación de los tableros fueron las siguientes:

- MDF-SL : Tablero **MDF Super Liviano** (A y B)
MDF-L : Tablero **MDF Liviano**
TP : Tablero de **Partículas**

Para definir las características de los tableros se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas. Esta caracterización se entrega en el Cuadro N° 1

Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LOS TABLEROS.

TABLERO	ESPESOR	DENSIDAD	RESISTENCIAS		
			FLEXIÓN		TRACCIÓN
			MOR	MOE	
(Clave)	(mm)	(kg/m ³)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
MDF - SL	15	549	31.4	2.316	0.47
MDF - SL - A	18	495	32.1	2.335	0.39
MDF - SL - B	18	556	32.2	2.409	0.79
MDF - L	18	592	37.0	2.909	0.56
MDF - SL	25	549	38.3	2.524	0.39
TP 16	16	598	20.6	2.289	0.32
TP 19	19	627	19.3	2.755	0.50

TP: Tablero de partículas

MDF: Tablero de fibras de densidad media

MÉTODO

Probetas

Las determinaciones de las variaciones dimensionales longitudinales (Hinchamiento Longitudinal) se llevaron a cabo de acuerdo con la norma EN 318 en probetas de 200 mm * 20 mm. Para cada tipo de tablero se ensayaron 40 probetas de las cuales 20 se cortaron con el eje longitudinal paralelo a la dirección de producción y 20 perpendiculares al sentido de la producción.

El ensayo de Hinchamiento en el Espesor se efectuó en probetas de 50 mm * 100 mm. El número de probetas por tipo de tablero fue 20.

Tratamiento

Las probetas fueron tratadas en una cámara de clima marca HERAEUS a diferentes condiciones de humedad relativa del aire hasta alcanzar la humedad de equilibrio, peso constante.

Las condiciones climáticas se regularon considerando una temperatura constante de 23 °C y se varió la humedad relativa aumentándola en forma escalonada desde 40 % hasta 95 %.

Considerando los límites señalados, en las determinaciones de humedad de equilibrio las probetas se acondicionaron pasando por los niveles 55 %, 70 % y 80 %. En el caso de las determinaciones de variación de las dimensiones, por dificultades técnicas del equipo de climatizado, el nivel 80 % fué reemplazado por 85 %.

Luego de alcanzar el nivel de humedad máximo, 95 %, todas las probetas se climatizaron reduciendo la humedad relativa a 70 % y finalmente secándolas en estufa a 103 °C, hasta peso seco.

Determinaciones

La variación dimensional se calculó como el promedio de ambos sentidos de fabricación.

En el caso del Hinchamiento Longitudinal se midieron las variaciones con un equipo diseñado de acuerdo con la norma EN 318 dotado con un registrador incremental digital.

Las variaciones del Hinchamiento en el Espesor se determinaron con un registrador digital.

Las variaciones dimensionales se calcularon de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{(d_1 - d_2)}{d_2} * 100 \quad (1)$$

Donde:

ε = Hinchamiento (%)

d_1 = Dimensión a 40, 55, 70, 85, 95, 70 y 0 % hum. rel.

d_2 = Dimensión inicial, base a 40 % hum. rel.

Con los valores de hinchamiento a 40 % y 95 % hum. rel. y las humedades de equilibrio respectivas, se calculó el hinchamiento porcentual por cada 1 % de cambio de humedad en el tablero. Este cálculo se realizó de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\varepsilon_{rel} = \frac{\varepsilon_{95}}{(H_{95} - H_{40})} \quad (2)$$

Donde:

ε_{rel} = Hinchamiento relativo (% por cada 1% cambio humedad del material)

ε_{95} = Hinchamiento a 95 hum. rel.

H_{95} = Humedad de equilibrio con 95 % hum. rel.

H_{40} = Humedad de equilibrio con 40 % hum. rel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad de Equilibrio

Los resultados de las determinaciones de humedad de equilibrio se presentan en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2

HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LOS TABLEROS Y SU DEPENDENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

MATERIAL (Clave)	HUMEDAD RELATIVA (%) A 20 °C				
	40	55	70	80	95
MDF 15 SL	6,3	6,8	7,8	11,5	17,6
MDF 18 SL-A	6,6	7,1	8,2	11,4	17,4
MDF 18 SL-B	6,3	7,0	8,1	11,5	17,1
MDF 18 L	7,1	7,6	8,4	11,3	16,3
MDF 25 SL	6,9	7,6	7,8	10,9	16,6
TP 16	7,3	8,0	10,0	13,7	19,0
TP 19	7,3	7,9	8,9	13,3	19,4

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

En general los resultados demuestran que la humedad de equilibrio alcanzada por los tableros es marcadamente inferior a la alcanzada en estudios paralelos con madera sólida de *Pinus radiata*. Esta diferencia puede deberse al tratamiento térmico que sufren las partículas y las fibras de los tableros durante el desfibrado y secado. Determinaciones en este sentido han sido efectuadas anteriormente, demostrándose que el tiempo y la temperatura de secado afectan la capacidad de las partículas para retener agua (POBLETE, 1984).

El análisis del comportamiento de los paneles permite observar que al climatizar en una humedad relativa de 80 % los tableros de partículas alcanzan una humedad de equilibrio aproximadamente 2 % mayor a la de los tableros de fibras. Esta diferencia se

daría por la permanencia de lignina en la superficie de las fibras durante el desfibrado termomecánico en la producción de tableros de fibras. La lignina tiene una humedad de equilibrio menor al resto de los componentes principales de la madera (KOLLMANN y SCHNEIDER, 1963).

Variaciones Dimensionales en el Largo

En el Cuadro Nº 3 se presentan los resultados del hinchamiento longitudinal, calculados en base al largo de las probetas en una humedad relativa de 40 %.

Cuadro Nº 3
HINCHAMIENTO LONGITUDINAL CALCULADO EN BASE A UNA HUMEDAD RELATIVA DEL
AIRE DE 40 %

MATERIAL (Clave)	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%)						
	40	55	70	85	95	70	0
MDF 15 SL	0	0,04	0,15	0,18	0,19	0,10	-0,32
MDF 18 SL-A	0	0,06	0,13	0,17	0,19	0,08	-0,35
MDF 18 SL-B	0	0,03	0,11	0,14	0,16	0,05	-0,32
MDF 18 L	0	0,05	0,10	0,18	0,19	0,08	-0,38
MDF 25 SL	0	0,06	0,15	0,17	0,22	0,08	-0,35
Promedio MDF	0	0,05	0,13	0,17	0,19	0,08	-0,34
TP 16	0	0,06	0,18	0,27	0,38	0,21	-0,28
TP 19	0	0,04	0,16	0,23	0,38	0,22	-0,29
Promedio TP	0	0,05	0,17	0,25	0,38	0,22	-0,29

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

En general los valores de hinchamiento son inicialmente, hasta un 55 % de humedad relativa, iguales en ambos tipos de tablero. A partir de este punto los hinchamientos de MDF resultaron menores a los de tableros de partículas (ver Figura Nº 1).

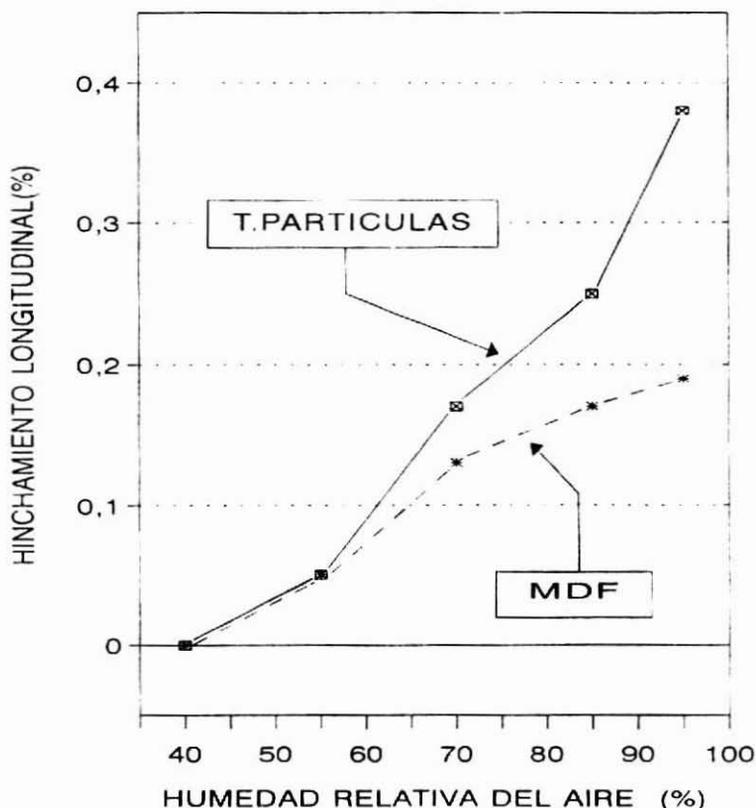


Figura Nº 1. EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE EL HINCHAMIENTO LONGITUDINAL (PROMEDIO DE TODOS LOS TABLEROS)

El hinchamiento longitudinal de los tableros MDF con una humedad relativa del aire a 85 % es de 0,17 %, lo que permite aseverar que los tableros cumplen con la exigencia de la norma EMB (0,4 %). Para el caso de los tableros de partículas no existe una exigencia de estas características.

Al reducir la humedad de equilibrio de 95 % a 0 %, se pudo determinar que los tableros MDF presentan un hinchamiento longitudinal con mayor capacidad de recuperación que los de partículas (ver Cuadro Nº 3).

Las diferencias entre tableros MDF y de partículas son atribuibles a diferencias estructurales y a la estabilización del hinchamiento de la madera lograda a través del tratamiento térmico con vapor en el desfibrado. Lo anterior queda demostrado por los trabajos de BURMESTER (citado por LEXIKON DER HOLZTECHNIK, 1988) quien desarrolló un proceso para una estabilización dimensional de tableros de partículas a

través de un tratamiento térmico de las partículas húmedas. También es conocido que especies de secado difícil, por ejemplo Coigüe (*Nothofagus dombeyi*), a través de un pretratamiento con agua caliente o vapor se estabilizan, disminuyendo las posibilidades de colapso y aparición de grietas (DIAZ-VAZ y POBLETE, 1989). En este sentido es importante el trabajo de MATEJAK (1982) quien demostró que con tratamientos cíclicos de humectación se logran disminuir las variaciones dimensionales en madera de *Fagus sylvatica*.

La relación entre humedad del tablero e hinchamiento longitudinal puede ser representada con exactitud por una regresión lineal de primer grado (ver Cuadro N° 4), cuya ecuación es la siguiente:

$$H_1 = A + B * H_r \quad (3)$$

Donde:

- H_1 = Hinchamiento longitudinal (%)
 A y B = constantes
 H_r = Humedad rel. aire (%)

Cuadro N° 4
HINCHAMIENTO LONGITUDINAL: REGRESIONES

Material	CONSTANTES		COEFICIENTE CORRELACIÓN
	A	B	
MDF 15 SL	-0,148	0,0038	0,96
MDF 18 SL-A	-0,133	0,0035	0,99
MDF 18 SL-B	-0,125	0,0031	0,98
MDF 18 L	-0,149	0,0036	0,99
MDF 25 SL	-0,155	0,0039	0,99
Promedio MDF	-0,140	0,0036	0,99
TP 16	-0,125	0,0031	0,98
TP 19	-0,298	0,0068	0,99
Promedio TP	-0,298	0,0068	0,99

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Hinchamiento calculado en base a una humedad relativa del aire = 40%

En el ensayo de hinchamiento longitudinal se tuvo en consideración la dirección de fabricación. Los resultados demostraron que debido a que existe una orientación parcial de las partículas y fibras, el hinchamiento longitudinal es menor en el sentido paralelo a la dirección de fabricación. Las diferencias entre ambas mediciones han sido representadas como proporción (Perpendicular/Paralela) en el Cuadro N° 5.

La dependencia del hinchamiento del sentido de fabricación se fundamenta en la anisotropía de la madera y su menor hinchamiento en el sentido longitudinal.

La existencia de una relación con la dirección de fabricación ha sido determinada por numerosos autores para el caso del módulo de elasticidad y el módulo de rotura en flexión, donde estas propiedades resultan alrededor de 10 % mas altas cuando el eje de la probeta queda paralelo al sentido de fabricación (NIEMZ, ROLLERI, BARRADIT, 1995).

Los resultados obtenidos demuestran que las diferencias entre los hinchamientos longitudinales paralelo y perpendicular a la dirección de fabricación, tienen variaciones importantes entre los tableros MDF. En el caso de los tableros de partículas los resultados muestran un comportamiento homogéneo, donde los hinchamientos perpendiculares son treinta veces mayores a los paralelos.

Cuadro Nº 5
PROPORCIÓN ENTRE HINCHAMIENTO
LONGITUDINAL PERPENDICULAR Y PARALELO
A LA DIRECCIÓN DE FABRICACIÓN

MATERIAL	PERPENDICULAR / PARALELO (%)
MDF 15 SL	1.6
MDF 18 SL-A	3.3
MDF 18 SL-B	11.6
MDF 18 L	2.2
MDF 25 SL	12.0
TP 16	33.0
TP 19	37.0

TP : Tablero de partículas
MDF : Tablero de fibras de densidad media

Variaciones Dimensionales en el Espesor

Los resultados de las mediciones del hinchamiento en el espesor se presentan en el Cuadro Nº 6. Los resultados demuestran que el hinchamiento del espesor es mayor en los tableros de partículas que en los MDF.

Cuadro N° 6

HINCHAMIENTO EN EL ESPESOR CALCULADO EN BASE AL ESPESOR CON UNA HUMEDAD RELATIVA DE 40 %

MATERIAL (Clave)	HINCHAMIENTO EN EL ESPESOR (%) BASE 40% H.R.A.					
	40	55	70	85	95	0
MDF 15 SL	0	0,20	1,50	3,80	8,90	-2,00
MDF 18 SL-A	0	0,20	1,30	3,20	8,20	-2,70
MDF 18 SL-B	0	0,20	1,50	3,40	8,00	-2,10
MDF 18 L	0	0,30	1,40	2,80	6,50	-2,80
MDF 25 SL	0	0,30	1,50	3,30	6,90	-1,40
Promedio MDF	0	0,24	1,44	3,30	8,30	-2,14
TP 16	0	0,20	1,90	4,30	9,30	3,90
TP 19	0	0,30	1,70	3,30	10,80	2,30
Promedio TP	0	0,25	1,80	3,80	10,05	3,09

TP : Tablero de particulas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Los tableros MDF registraron un hinchamiento del espesor de 3,3 % al aumentar la humedad relativa a 85 %. De acuerdo con EURO-MDF-BOARD (1990) el hinchamiento máximo no debe superar 6 % por lo que los tableros cumplen con esta exigencia. Para los tableros de partículas no existe un requisito de este tipo.

De los resultados es importante destacar que los tableros de fibra (MDF) luego del secado, a 0 % de humedad, alcanzan un espesor menor que el inicial (determinado con 40 % de humedad relativa). Por el contrario, en los tableros de partículas se registra un hinchamiento irreversible mayor al inicial. Esta diferencia corresponde al fenómeno denominado *Springback* (ver Figura N° 2).

Las diferencias entre ambos tipos de tableros se deben a que con el climatizado a altas humedades relativa, se provoca una destrucción parcial de las uniones entre las partículas.

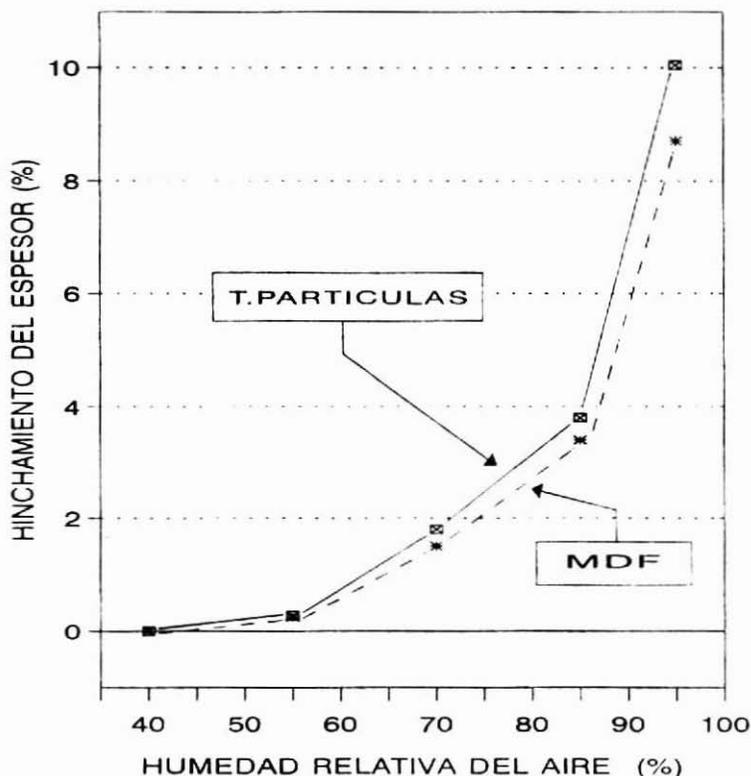


Figura Nº 2: EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE EL HINCHAMIENTO DEL ESPESOR (PROMEDIO DE TODOS LOS TABLEROS)

Con los valores de hinchamiento en el espesor se efectuó un análisis de regresión, obteniéndose los resultados que se presentan en el Cuadro Nº 7. De los resultados de este análisis se debe destacar los altos valores de correlación registrados para todos los tipos de tableros ensayados.

Las ecuaciones calculadas son de primer grado y corresponden al siguiente modelo:

$$H_e = A + B * H_r \quad (4)$$

Donde:

H_l = Hinchamiento longitudinal (%)

A y B = constantes

H_r = Humedad rel. aire (%)

Cuadro N° 7
HINCHAMIENTO DEL ESPESOR: REGRESIONES

MATERIAL	CONSTANTES		COEFICIENTE CORRELACIÓN
	A	B	
MDF 15 SL	-0,002158	1,092602	0,99
MDF 18 SL-A	-0,001425	1,096251	0,99
MDF 18 SL-B	-0,002615	1,089073	0,97
MDF 18 L	-0,005302	1,078056	0,99
MDF 25 SL	-0,003203	1,087660	0,99
Promedio MDF	-0,002554	1,089660	0,99
TP 16	-0,002510	1,092036	0,98
TP 19	-0,003370	1,087814	0,98
Promedio TP	-0,002925	1,089910	0,98

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Hinchamiento calculado en base a una humedad relativa del aire = 40%

Variaciones Dimensionales en Relación al Cambio de Humedad de Equilibrio

Con los valores obtenidos en los ensayos de hinchamiento longitudinal y del espesor se calculó la variación de las dimensiones, en porcentaje, por cada 1 % de variación de la humedad de equilibrio del tablero (ver Cuadro N° 8).

Este parámetro ha sido determinado en estudios anteriores señalándose que en tableros de partículas encolados con Ureaformaldehído la variación longitudinal fué 0,035 % y alcanza a 0,45 % en el espesor (NOACK Y SCHWAB, 1986).

En el presente estudio el hinchamiento longitudinal de los tableros de partículas fue menor a lo citado por la literatura, mientras que en el caso del hinchamiento en el espesor los valores son más altos. Las diferencias pueden deberse al uso de aditivos con el adhesivo (por ejemplo hidrófobos) o a la aplicación de adhesivos distintos a los de otros estudios, ya sea en la cantidad, tipo o calidad.

Cuadro N° 8
HINCHAMIENTO POR CADA 1% DEL CAMBIO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL
TABLERO.

MATERIAL	HINCHAMIENTO (% POR CADA 1%)	
	LONGITUDINAL	ESPESOR
MDF 15 SL	0,017	0,79
MDF 18 SL-A	0,018	0,76
MDF 18 SL-B	0,015	0,74
MDF 18 L	0,020	0,70
MDF 25 SL	0,023	1,02
Promedio MDF	0,019	0,80
TP 16	0,031	0,77
TP 19	0,032	0,92
Promedio TP	0,032	0,84

TP : Tablero de partículas
MDF : Tablero de fibras de densidad media

No existen investigaciones que estudien esta relación del hinchamiento con la humedad de equilibrio en tableros de fibras de densidad media (MDF). Por lo anterior no se tienen valores que sirvan de referencia para estos tableros.

BIBLIOGRAFÍA

Díaz-Vaz, J.E.; Poblete, H. 1989. Pretratamiento de Madera para Muebles. CORFO. Fondo de Desarrollo Productivo. Corporación de Fomento de la Producción. 67 p.

EN-318. 1993. Fasserplatten. Bestimmung von Massaenderungen in Verbindung mit Aenderungen der relativen Luftfeuchte.

Euro-Mdf-Board. 1990. Mitteldichte Faserplatten (MDF): Definition, Prüfbedingungen und Qualitätsanforderungen. Industrienorm. 30 p.

Kollmann, F.; Shneider, A. 1963. Über das Sorptionsverhalten WWärmebehandelter Hölzer. Holz als Roh- und Werkstoff 21 (3): 77-85.

Lang, E.; Lofersky, J. 1995. In-plane Hygroscopic Expansion of Plywood and Oriented Strandboard. Forest Products Journal 45(4): 67-71

Lexikon Der Holztechnik. 1988. 3ª-Edición. VEB Fachbuchverlag. Leipzig. 961 p.

Matejak, M. 1982. Einfluss des Trocknens von Holz auf den Verlauf seiner Sorptionsisothermen. Holzforschung und Holzverwertung 35 (4): 77-85.

Niemz, P.; Rolleri, A.; Barradit, E. 1995. Untersuchungen zur Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Spanplatten un MDF und deren Korrelation mit den elastomechanischen Eigenschaften. Holz- Zentralblatt. Im Druck.

Noack, D.; Schwab, E. 1986. En: von Halaz, R.; Scheer, R.: *Holzbautaschenbuch*. Ernst-Verlag für Architektur u. Technische Wissenschaften. Berlin.

Poblete, H. 1984. *Veränderungen in Holzspänen während der Trocknung und des Pressens zu Holzspanplatten*. Disertación para optar a Doctorado. U. de Göttingen. 157 p.

Suchsland, O.; Xu, H. 1989. On the Measurement of Linear Expansion of Particleboard and Medium Density Fiberboard. *Forest Products Journal* 39 (6): 39-42.

Xu, H.; Suchsland, O. 1991. The Expansion Potential: A New Evaluator of the Expansion Behavior of Wood Composites. *Forest Products Journal* 41 (6): 39-42.