

Velocidad del sonido como predictor de propiedades en tableros de partículas

Speed of sound transmission as properties predictor of particleboards

IGNACIO ESPINA¹, PETER NIEMZ², HERNAN POBLETE³

¹ CONAF, Camilo Henríquez 430, Of. 201-Villarrica, Chile.

² Eidgenössische Technische Hochschule, CH-8092 Zurich ETH-Zentrum, NO F47.1, Alemania.

³ Inst. Tecnología de Productos Forestales. Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

The use of sound speed transmission, measured parallel to the board surface, as a predictor of board quality was studied. The variables were: board density, resin content and closure time of the press. The level of association and dependence between the variables were determined through correlation analysis. Boards were made using Roble (*Nothofagus obliqua*) and Raulí (*Nothofagus alpina*) wood.

A high correlation between sound speed transmission, board density and adhesive content was determined. The high correlation between bending strength and sound speed allows its application as a predictor of this property. No relation between sound speed and internal bond was found.

Key words: sound speed transmission, particleboards.

RESUMEN

Se determinó la posibilidad de utilizar la velocidad del sonido medida paralela a la superficie como un predictor de calidad en tableros de partículas. Las variables estudiadas fueron densidad de tablero y contenido de adhesivo. Mediante análisis de correlación se verificó el grado de asociación y dependencia existente entre la velocidad del sonido y las propiedades de los tableros. Los tableros se fabricaron con madera de renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*).

Los resultados indican que existe un alto grado de asociación entre la velocidad de propagación del sonido y las variables densidad y contenido de adhesivo. Se determinó una alta correlación con la propiedad flexión, lo que evidencia la posibilidad de emplear como parámetro predictor la velocidad del sonido en la determinación de esta propiedad. En el caso de la resistencia a la tracción no se encontraron correlaciones adecuadas.

Palabras claves: velocidad de transmisión del sonido, tableros de partículas.

INTRODUCCION

Para determinar las propiedades de los tableros de partículas se utilizan ensayos destructivos, donde se requiere remover algunos tableros desde la línea de producción hasta un laboratorio para ser cortados y ensayados. Por lo tanto, las propiedades sólo son conocidas después de un tiempo prolongado, no siendo posible efectuar cambios inmediatos en la línea de producción para corregir defectos.

Existe la posibilidad de determinar la calidad mediante evaluaciones no destructivas, las cuales cuentan con técnicas que proporcionan con mayor rapidez información respecto a las propiedades mecánicas del material (Ross y Pellerin 1991).

Los ensayos no destructivos están basados en efectos físicos (emisión de ondas sonoras, ondas electromagnéticas, reflexión de luz y varias otras) y son afectados por características de la madera (densidad, presencia de defectos) y por el ambiente (temperatura y humedad). Las mediciones del

efecto físico se podrían emplear para determinar las propiedades mecánicas aplicando funciones matemáticas (regresiones) que relacionan la propiedad mecánica con el efecto físico determinado (Niemz 1994).

Una posibilidad no destructiva de evaluar la calidad en los tableros de partículas es utilizando la velocidad de propagación del sonido (Ross y Pellerin 1991, Niemz 1994). La utilización de esta técnica está basada en la transmisión de pulsos u ondas de sonido a través del tablero (Bucur y Archer 1984).

El método de control por la velocidad de propagación del sonido tiene como principio el uso de la correlación entre la velocidad de propagación y las propiedades mecánicas de los materiales (Niemz 1994, Burmester 1968, Ross y Pellerin 1988). La técnica se basa en un método de transmisión de pulsos. La determinación de la velocidad de propagación es posible obtenerla a través de la medición directa del largo de la muestra y el tiempo de viaje de una onda acústica (Bucur y Archer 1984).

Las ondas pueden ser aplicadas sobre el material mediante un impacto mecánico o un impacto sónico, este último es un fenómeno físico de impacto mecánico y que por naturaleza es de origen electromagnético (Pellerin 1974, Gerhards 1982, Ross *et al.* 1992, Niemz 1994). Según Gerhards (1982) no existe diferencia apreciable en la velocidad resultante de mediciones realizadas mediante impacto mecánico o sónico.

En general, al pasar la onda de sonido desde el aire a cuerpos sólidos se produce un debilitamiento de la onda sonora. En los tableros de partículas existe una gran cantidad de poros, por lo que la velocidad de las ondas es más lenta que en madera sólida (Niemz y Plotnikov 1988). Cuando las determinaciones se realizan en tableros de partículas la velocidad medida en forma perpendicular a la superficie es menor que la medida en forma paralela, debido a que la absorción de las ondas es mayor cuando se mide perpendicularmente (Niemz y Sander 1990).

En diversos trabajos se ha demostrado que a medida que aumenta la densidad del tablero la velocidad de ultrasonido perpendicular al plano aumenta en forma directa. Esto se debe a que al aumentar la densidad disminuyen los espacios entre las partículas (Burmester 1965, Schweitzer y Niemz 1990). Pellerin (1974) sostiene que un tablero puede contener muchas zonas donde se pasa

de zonas vacías a zonas de alta densidad. Por lo tanto, la velocidad del sonido indica un valor promedio de la resistencia en un largo determinado del tablero, dependiendo de la densidad promedio de éste. El mismo autor afirma que debido a que los tableros de partículas tienen una densidad más uniforme, la determinación de fallas que afecten la calidad es más exacta que en otros materiales.

Otro factor importante a considerar es la cantidad de adhesivo. En términos generales, cuando aumenta el contenido de adhesivo, la velocidad de propagación del sonido medida en forma perpendicular a la superficie de tablero aumenta. A medida que el número de puentes de adhesivo aumenta, se produce una mejor transmisión de la onda. Además, la penetración del adhesivo en la madera y la densidad del mismo hacen que aumente la velocidad de las ondas (Schweitzer y Niemz 1990).

Según Burmester (1968) y Niemz y Sander (1990) un aumento de la velocidad de la onda, medida perpendicular a la superficie, es un indicador de un aumento de la resistencia a la flexión, del módulo de elasticidad y de la tracción normal.

Schweitzer y Niemz (1990) determinaron la correlación entre la velocidad de ultrasonido perpendicular al plano y la tracción normal, obteniendo un " r " = 0.78. La correlación entre la velocidad de ultrasonido y las propiedades resistencia a la flexión y módulo de elasticidad fue más baja, 0.47 y 0.48, respectivamente (Schweitzer y Niemz 1990).

Burmester (1968) determinó la relación entre resistencia a la flexión y la velocidad de ultrasonido, perpendicular a la superficie, en tableros donde se varió el número de capas, obteniendo valores " r " entre 0.3 y 0.9. La correlación encontrada entre tracción normal y la velocidad del sonido dio valores " r " entre 0.47 y 0.98. Ross y Pellerin (1988) obtuvieron correlaciones muy altas entre el módulo de elasticidad en flexión y la velocidad de ultrasonido al cuadrado, con un " r " = 0.97.

METODOLOGIA

Madera. En la fabricación de los tableros se utilizaron partículas de madera provenientes de renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*), ubicados en los fundos Jauja y Santa Luisa, provincia de Malleco, IX Región. La densidad básica promedio de la madera de raulí fue 463 kg/m^3 y 497 kg/m^3 para roble, logrando

un promedio de 480 kg/m³ entre ambas (Poblete et al. 1994).

Preparación de las partículas. Las partículas fueron secadas durante 18 a 20 horas, a una temperatura de 110°C hasta lograr un contenido de humedad de 4 a 5%. Con las partículas secas, se procedió a determinar el tamaño y coeficiente de esbeltez de las partículas. En esta determinación se utilizó un set de tamices, que en este caso fueron de 2.0, 1.4, 1.0 y 0.5 mm.

El pH de las partículas se controló en soluciones de agua destilada con madera. Las soluciones se prepararon mezclando 10 gr de material en 100 ml de agua destilada y las mediciones a esta solución se realizaron después de 4 horas de agitación a 66 r.p.m. aproximadamente, utilizándose un pHmetro digital.

Fabricación de los tableros. Los tableros se fabricaron considerando las siguientes condiciones: Espesor: 16 mm.

Proporción capa externa/capa media: 50/50.

Densidad: 560, 610, 660 y 710 kg/m³

Adhesivo: Ureaformaldehído.

Concentración: 50%.

Adhesivo en capa externa: 7%, 9%, 11% y 13%.

Adhesivo en capa media: 8%.

Ciclo de prensado:

Tiempo total : 7 min.

Temperatura : 160°C.

Presión máxima : 3.0 N/mm².

Tiempo a presión máxima : 2 min.

Presión media : 1.5 N/mm².

Tiempo a presión media : 3 min.

Las variables consideradas en el estudio se presentan en el cuadro 1.

Determinación de las propiedades mecánicas de los tableros. Las propiedades mecánicas determinadas fueron resistencia a la flexión (módulo de rotura y módulo de elasticidad) según DIN 52 362 y resistencia a la tracción perpendicular (DIN 52 365). El tamaño de las probetas fue de 50 mm de ancho y 320 mm de largo para resistencia a la flexión y de 50 mm de ancho * 50 mm de largo * 16 mm de espesor para resistencia a la tracción perpendicular.

Para cada variable de estudio (los 4 tipos de densidades y 4 contenidos de adhesivos de la capa externa) se fabricaron 4 tableros, logrando por cada tablero 8 probetas para resistencia a la tracción y 8 para flexión.

Determinación de la velocidad del sonido. Previo a la determinación de las propiedades mecánicas de los tableros se determinó la velocidad del sonido medida paralela a la superficie. A cada probeta se le determinó la densidad básica. Luego se perforó con un taladro eléctrico en 5 mm a cada extremo de las probetas para insertar los conductores de las ondas.

Se utilizó un equipo marca Sylvatest, de una frecuencia de 16 kHz. El equipo entrega el tiempo (microsegundos) que demora la onda de sonido en pasar de un extremo a otro de la probeta. La velocidad del sonido se determinó dividiendo el largo de la muestra por el tiempo en segundos que demoró la onda de sonido en atravesar la probeta. La temperatura y humedad relativa existentes correspondieron a 15° C y 50%.

CUADRO 1

Variables en el estudio.
Variables of the investigation.

Variables	Parámetros	Tableros			
		1	2	3	4
Densidad	Densidad media (kg/m ³)	560	610	660	710
	Adhesivo capa externa (%)	9	9	9	9
Contenido Adhesivo	Densidad (kg/m ³)	610	610	610	610
	Adhesivo capa externa (%)	7	9	11	13

Análisis de datos. Se determinaron los coeficientes de correlación "r" entre las propiedades mecánicas, velocidad del sonido y las variables de estudio (densidad; contenido de adhesivo). El análisis de correlación se realizó mediante una regresión lineal simple, según el modelo siguiente:

$$Y = a + b \times X$$

Donde :

Y = Variable dependiente: Resistencia a la flexión estática (MOR); Módulo de elasticidad (MOE); Resistencia a la tracción perpendicular; Velocidad del sonido.

X = Variable independiente: Densidad del tablero; Contenido de adhesivo; Velocidad del sonido.

A cada coeficiente de correlación se le verificó la significancia del valor "r", mediante el test de significación del coeficiente de correlación. De esta manera se determinó si la correlación obtenida debe considerarse como un indicativo de una asociación verdadera entre variables o si se trata de una fluctuación al azar debido al muestreo.

PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Análisis del tamaño y pH de las partículas. El largo y espesor promedio de las partículas fue 15.4 mm y 0.3 mm, respectivamente. El coeficiente de

esbeltez promedio para ambas capas alcanzó a 48. El análisis de tamaño demuestra que el tipo de geometría es normal para las especies y método de viruteado.

El pH promedio registrado en la mezcla de partículas fue de 4.9. El adhesivo empleado, urea-formaldehído, fragua en condiciones óptimas cuando el ambiente de pH de la mezcla de madera y adhesivo presenta un valor de alrededor de 3.5. Por lo tanto, para alcanzar un nivel mayor de acidez se agregó al adhesivo cloruro de amonio (NH₄Cl) como catalizador, en una cantidad equivalente al 1% del peso seco de la resina (urea-formaldehído).

Influencia de la estructura sobre la calidad: Densidad: Los valores promedio de resistencia a la flexión, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción perpendicular de los tableros se representan en el cuadro 2.

En el caso de la resistencia a la flexión (MOR), a medida que aumenta la densidad del tablero se incrementa la resistencia a la flexión en forma directa, corroborando lo informado por otros autores (Kelly 1977, Niemz y Sander 1990).

Una situación similar se presenta para las relaciones entre densidad, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción.

Los resultados del análisis de correlación, donde la densidad correspondió a la variable independiente y las propiedades mecánicas (MOR, MOE y resistencia a la tracción) a la variable dependiente, se presentan en el cuadro 3.

CUADRO 2

Flexión (MOR, MOE) y tracción con distintos niveles de densidad (adhesivo promedio = 8.5%).
Bending strength (MOR, MOE) and internal bond (of boards) with different density levels
(Mean amount of adhesive = 8.5%).

Densidad (kg/m ³)	Flexión (MOR) (N/mm ²)		Flexión (MOE) (N/mm ²)		Tracción (N/mm ²)	
	Promedio	Desv. est.	Promedio	Desv. est.	Promedio	Desv. est.
560	13.34	2.83	1633	443	0.42	0.14
598	17.59	2.74	2143	256	0.62	0.06
651	23.10	3.87	2584	318	0.83	0.04
688	23.17	3.17	2752	461	1.07	0.06

CUADRO 3

Regresiones en función de la densidad (d).
 Regressions with board density (d) as independent variable.

Propiedad	r	Ecuación	E.E.E.	Significancia 0.95
Flexión (MOR)	0.88	MOR = 39.3871 + 0.09435 * d	0.139	Sí
Flexión (MOE)	0.81	MOE = 2931.41 + 8.39773 * d	0.135	Sí
Tracción (T)	0.89	T = 1.78328 + 0.003913 * d	0.172	Sí

E.E.E. = Error estándar de la estimación

Los resultados de este análisis muestran una buena correlación entre la densidad y las propiedades mecánicas de los tableros, con altos valores de "r" y que son significativos al 95% de probabilidad. Relaciones similares han sido encontradas por otros autores.

Contenido de adhesivo: En el cuadro 4 se entregan los valores promedio de resistencia a la flexión, módulo de elasticidad y tracción perpendicular de los tableros fabricados con diferentes contenidos de adhesivo en las capas externas.

El tipo de relación encontrado entre la resistencia a la flexión (MOR) y el contenido de adhesivo, mejorando la resistencia a medida que éste aumenta, es similar a la determinada por otros autores (Post 1961, Hänsel *et al.* 1988). En el caso

de la determinación del módulo de elasticidad (MOE) también se produce un aumento de la propiedad con un incremento en el contenido de adhesivo.

Al determinar la resistencia a la tracción de los tableros no se observa una relación con la variable estudiada, el contenido de adhesivo. Esto era de esperar ya que el aumento de adhesivo se provocó en las capas externas, las que no juegan un papel importante en esta resistencia.

Con el objeto de establecer la relación entre contenido de adhesivo y las propiedades mecánicas se realizó un análisis de correlación cuyos resultados se presentan en el cuadro 5.

Existe un alto grado de asociación entre la variable y las propiedades medidas (cuadro 5). Sin embargo, pese al alto coeficiente de correlación en-

CUADRO 4

Flexión (MOR, MOE) y tracción con distintos niveles de adhesivo (densidad = 610 kg/m³).
 Bending strength (MOR and MOE) and internal bond (of boards) with
 different adhesive levels (Board Density = 610 kg/m³).

Adhesivo (%)	Flexión (MOR) (N/mm ²)		Flexión (MOE) (N/mm ²)		Tracción (N/mm ²)	
	Promedio	Desv. est.	Promedio	Desv. est.	Promedio	Desv. est.
7.5	15.80	1.76	2073	312	0.64	0.10
8.5	17.59	2.74	2143	256	0.62	0.07
9.5	21.29	3.21	2444	394	0.68	0.07
10.5	21.71	2.84	2587	389	0.68	0.05

CUADRO 5

Regresiones en función del contenido de adhesivo (ca).
 Regressions with adhesive amount (ca) as independent variable.

Propiedad	r	Ecuación	E.E.E.	Significancia
Flexión (MOR)	0.96	MOR = 0.17522 + 2.141267 * ca	0.050	Sí
Flexión (MOE)	0.97	MOE = 653.7256 + 184.2625 * ca	0.029	Sí
Tracción (T)	0.78	T = 0.487035 + 0.018469 * ca	0.036	No

E.E.E.= Error estándar de la estimación

contrado entre la resistencia a la tracción y el contenido de adhesivo ("r" = 0.78), éste no es significativo a un 95% de probabilidad, es decir; el valor de "r" se obtuvo por una fluctuación al azar y no de una asociación verdadera entre ambas variables.

La no asociación encontrada entre el contenido de adhesivo y la resistencia a la tracción se debe a que la tracción determina la calidad de la unión entre las partículas de la capa media. Como el contenido de adhesivo de la capa media no varía, manteniéndose constante en 8%, no es posible encontrar una influencia sobre esta propiedad por un aumento del nivel de adhesivo.

Influencia de las variables sobre la velocidad del sonido: Densidad. Los resultados del análisis de correlación para la relación entre velocidad del sonido y densidad del tablero se presentan en la figura 1. Se observa que la velocidad del sonido aumenta directamente a medida que lo hace la densidad del tablero. Esta relación presenta un alto coeficiente de correlación ("r" = 0.93) y que es significativo al 95% de probabilidad (figura 1).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por Burmester (1965 y 1968) y Schweitzer y Niemz (1990) en cuanto a que existe una estrecha relación entre la velocidad del sonido y la densidad del tablero. La causa de esta relación está en la mayor cantidad de material sólido y la disminución de los espacios entre partículas a medida que aumenta la densidad, logrando una mejor transmisión de las ondas de sonido.

Contenido de adhesivo: Los resultados del análisis de correlación entre velocidad del sonido y variación del contenido de adhesivo se presen-

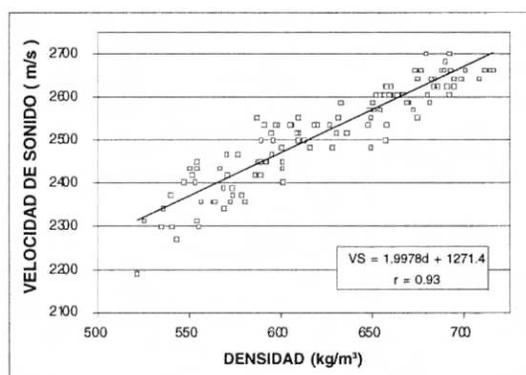


Figura 1. Relación entre velocidad de sonido (VS) y densidad (d). (Adhesivo = 8.5%).

Relationship between speed of sound transmission (VS) and board density (d). (Adhesive amount = 8.5%).

tan en la figura 2. Se pudo determinar que a medida que se incrementa el contenido de adhesivo, la velocidad del sonido aumenta en forma directa, repitiéndose el efecto descrito por Schweitzer y Niemz (1990).

La alta correlación ("r" = 0.98), significativa a un 95% de probabilidad, confirma los resultados de Schweitzer y Niemz (1990). Al aumentar el contenido de adhesivo se incrementa el número de puentes de adhesivo entre las partículas y se mejora la penetración de éste en la madera, lo que disminuye el número de poros, facilitando la transmisión de la onda de sonido.

El contenido de adhesivo sólo se varió en las capas externas, de esta manera la relación obtenida está determinada por las superficies del tablero. Es probable que al inducir una variación del contenido de adhesivo en la capa central, alma, mejore aún más la relación.

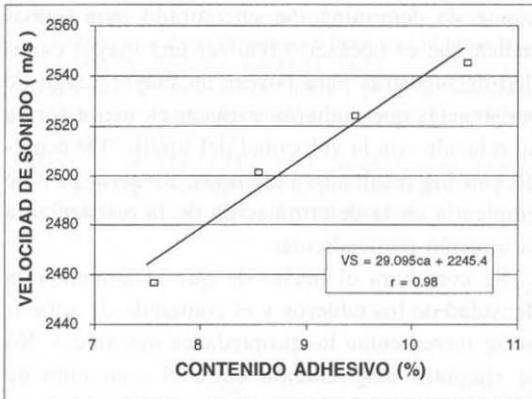


Figura 2. Relación entre velocidad de sonido (VS) y contenido de adhesivo (ca). (Densidad de tablero = 610 kg/m³).

Relationship between speed of sound transmission (VS) and adhesive content (ca). (Board density = 610 kg/m³).

Relación entre la velocidad del sonido y las propiedades mecánicas. Para determinar si existe algún grado de relación entre la velocidad del sonido y las propiedades mecánicas se realizaron análisis de correlación similares a los presentados anteriormente. En este caso el análisis estadístico se efectuó tomando como base de datos los valores obtenidos al ensayar tableros con una densidad de 600 kg/m³ y que poseían un contenido de adhesivo de 8% para la capa media y 9% para la externa. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 6.

Los valores de "r" registrados para la resistencia a la flexión (MOR) y los del módulo de elasticidad (MOE) son significativos a un 95% de probabilidad. Vale decir, que al aumentar la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad se

incrementa la velocidad del sonido. Esta tendencia coincide con lo informado por Niemz y Sander (1990), pese al bajo porcentaje de variación para el MOE (35%) y MOR (16%). Sin embargo, considerando las condiciones del ensayo y los resultados obtenidos, se estima que las correlaciones encontradas en el presente trabajo mejorarían si se provocara un rango de distribución de los valores de flexión más amplio, aumentando el número de muestras. En este sentido es necesario investigar en el futuro. Pese a lo anterior, el haber obtenido relaciones satisfactorias entre la propiedad flexión y la propagación paralela al plano del sonido, ofrece una posibilidad interesante para el desarrollo de técnicas de ensayo no destructivas.

El bajo coeficiente de correlación registrado para la relación entre la resistencia a la tracción y la velocidad del sonido ("r" = 0.15) no es significativo, lo que indica que no existe una asociación entre ambas propiedades.

Al transmitir la onda de sonido en forma paralela a la superficie, su velocidad será determinada por la mayor densidad de las capas externas. La onda de sonido se trasladará por la zona de mayor densidad, capas externas, las que al mismo tiempo determinarán la resistencia a la flexión (MOR y MOE) del tablero. De esta forma se establece la relación que ha sido determinada y presentada en el cuadro 6.

El mismo tipo de relación ha sido encontrado en otros estudios cuando la onda es medida perpendicular al plano; a medida que aumenta la densidad o el contenido de adhesivo la resistencia a la flexión y la velocidad de las ondas de sonido aumentan (Burmester 1968, Schweitzer y Niemz 1990).

CUADRO 6

Regresiones en función de la velocidad del sonido (VS).

Regressions with speed of sound transmission (vs) as independent variable.

Propiedad	r	Ecuación	E.E.E.	Significancia 0.95
Flexión (MOR)	0.59	MOR = 82.1994 + 0.039896 * VS	0.130	Sí
Flexión (MOE)	0.40	MOE = 4268.37 + 2.563431 * VS	0.113	Sí
Tracción normal (T)	0.15	T = 0.23219 + 0.000336 * VS	0.010	No

E.E.E.= Error estándar de la estimación.

Para el caso de la tracción normal, Burmester (1968) y Schweitzer y Niemz (1990) encontraron que existe una buena correlación entre la tracción perpendicular y la velocidad de propagación del sonido medida en forma perpendicular a la superficie del panel.

En el caso del presente trabajo no se pudo determinar una relación de este tipo, debido a la dirección de la onda en el ensayo. Cuando la onda se transmite paralela a la superficie del tablero su velocidad es determinada por la mayor densidad de las capas externas, donde se propaga con mayor facilidad. Por lo tanto la velocidad de la onda está en directa relación con las capas externas y no representa el estado de la capa central. Se debe tener presente que la capa central es la que determina la resistencia a la tracción.

Por el contrario, cuando las ondas son enviadas perpendicular a la superficie del panel, la onda de sonido recorre obligatoriamente las capas externas y la central, dependiendo su velocidad de la cantidad de espacios vacíos. A su vez, los espacios disminuyen a mayor cantidad de adhesivo y densidad, permitiendo establecer una relación entre la resistencia a la tracción perpendicular y la velocidad de propagación de la onda.

Es probable que la correlación entre velocidad de transmisión, en dirección longitudinal, y tracción mejore significativamente al variar la cantidad de adhesivo en la capa media o al alterar su densidad modificando el perfil de densidad del tablero.

CONCLUSIONES

Existe una estrecha relación entre la estructura de los tableros y la velocidad del sonido medida paralela al plano. Así, al aumentar la densidad o el contenido de adhesivo de ellos, la velocidad de transmisión de las ondas de sonido es mayor. Lo anterior indica que a densidades más altas los espacios entre las partículas de madera disminuyen y que a mayores niveles de adhesivo, los puentes de adhesivo aumentan, disminuyendo la cantidad de poros, lo que mejora la transmisión de las ondas de sonido.

Es posible utilizar la velocidad del sonido, medida en forma paralela al plano del tablero, en la determinación de la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad. Sin embargo, el bajo coeficiente de determinación encontrado para ambas

indica que es necesario realizar una mayor cantidad de muestras para poseer un mayor rango de resistencias que pudieran explicar en mejor forma su relación con la velocidad del sonido. De acuerdo con los resultados obtenidos, no sería posible emplearla en la determinación de la resistencia a la tracción perpendicular.

Se corrobora el hecho de que al aumentar la densidad de los tableros y el contenido de adhesivo se incrementan las propiedades mecánicas. No se encontró una relación entre el contenido de adhesivo y la resistencia a la tracción perpendicular, lo que era de esperar ya que la cantidad de adhesivo sólo se varió en las capas externas.

BIBLIOGRAFIA

- BUCUR, V., R. ARCHER. 1984. "Elastic constants for wood by an ultrasonic method", *Wood Science and Technology* 18(4): 255-265.
- BURMESTER, A. 1965. "Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und morphologischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Holz", *Holz als Roh- und Werkstoff*, Berlín 23(6): 227-236.
- BURMESTER, A. 1968. "Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Richte, Querszug sowie Biegefestigkeit von Holzspanplatten", *Holz als Roh- und Werkstoff* 26(4): 113-117.
- GERHARDS, Ch. 1982. "Longitudinal stress waves for lumber stress grading: factors affecting applications: state of the art", *Forest Products Journal*. 32 (2): 20-25.
- HÄNSEL, A., P. NIEMZ, F. BRADE. 1988. "Untersuchungen zur Bildung eines Modells für das Rohdichteprofil im Querschnitt dreischichtiger Spanplatten", *Holz als Roh- und Werkstoff* 46: 125-132.
- KELLY, M. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards, 57 p.
- NIEMZ, P., S. PLOTNIKOV. 1988. Untersuchungen zum Einfluß ausgewählter Strukturparameter auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellen in Vollholz und Spanplatten. *Holztechnologie* 29(4): 207-209.
- NIEMZ, P., D. SANDER. 1990. *Prozeßmeßtechnik in der Holzindustrie*. VEB Fachbuchverlag Leipzig. 286 p.
- NIEMZ, P. 1994. Tendencia de desarrollo en el campo de los ensayos no destructivos para madera y tableros a base de madera. Seminario Avances en Tecnología de la madera. Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales, Valdivia, pp. 1-24.
- PELLERIN, R. 1974. New concept allows non-destructive, in-process testing of board quality. Metriguard. Reprinted from Forest Industries, 2 p.
- POBLETE, H., J. DIAZ-VAZ, R. JUACIDA. 1994. Aprovechamiento industrial de la madera proveniente del manejo de renovales. Proyecto de Innovación Tecnológica. FONTEC-CORFO. Informe de Convenio N° 215. Serie Técnica. U.A.CH., Fac. de Cs. Forestales, Valdivia, 215 p.

- POST, P. W. 1961. "Relationship of flake size and resin content to Mechanical and Dimensional Properties of Flake Board", *Forest Products Journal* 11(1): 34-37.
- ROSS, R., R. PELLERIN. 1988. "NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves", *Forest Products Journal* 38(5): 39-45.
- ROSS, R., R. PELLERIN. 1991. Nondestructive testing for Assensing Wood Members in Structure A Review. General Technical Report, FPL-GTR-70, Madison.
- ROSS, R., J. WARD, A. TENWOLDE. 1992. "Identifying Bacterially Infected Oak by Stress wave Nondestructive Evaluation", *Forest Service. Research Paper FPL-RP-512*.
- SCHWEITZER, F., P. NIEMZ. 1990. "Grundlegende Untersuchungen zum Einfluß wichtiger Parameter auf die Ausbreitungs geschwindigkeit von Ultraschallwellen in einschichtigen Spanplatten", *Holzforschung und Holzverwertung* 42(5): 87-89.