

Maderas impregnadas con polímeros. Parte I. Madera de pino impregnada con poliestireno

Franco M. Rabagliati C.*, Claudio A. Terraza I.*

RESUMEN: Se presenta el estudio de la impregnación de madera de pino insigne (*Pinus radiata*) con estireno conteniendo peróxido de benzoilo, seguida por la polimerización en masa, termo-catalítica, in-situ. La madera impregnada con polímero, MIP, presenta propiedades mecánicas mejoradas respecto a la madera sin impregnar, MSI. La MIP presenta menor absorción de agua que es responsable de su mejor estabilidad dimensional.

SUMMARY: Pine wood (*Pinus radiata*) has been impregnated with styrene containing benzoyl peroxide, followed by in-situ thermocatalytic bulk polymerization. Polymer impregnated wood, PIW, showed increased mechanical properties compared with plain wood. PIW absorbs lower amount of water than the non impregnated wood, NIW, improving its dimensional stability.

INTRODUCCIÓN

Los materiales porosos son susceptibles a ser impregnados con otros materiales los que, llenando sus poros, les confieren propiedades particulares. Así, en los últimos años hemos trabajado en impregnación de morteros con diferentes polímeros (1, 2) y también con copolímeros (3) lográndose mejoramientos substanciales en sus propiedades mecánicas expresadas como resistencia a la tracción y como resistencia a la compresión, además la impregnación con polímeros mejora notoriamente la resistencia, de los morteros, a agentes agresivos como también a la absorción de agua. Durante años se ha preparado maderas modificadas mediante impregnación con prepolímeros tales como resinas fenólicas, seguido por curado bajo presión y temperatura. Los "composites" resultantes muestran considerable mejoramiento en estabilidad dimensional y en propiedades mecánicas. En general, para éstas aplicaciones se han utilizado resinas que resultan densamente entrecruzadas.

Por los años cincuenta, como parte de un amplio programa para el desarrollo de aplicaciones de radiación nuclear, en Estados Unidos se auspiciaron numerosos proyectos sobre polimerización mediante irradiación de monómeros vinílicos. Entre éstos cabe señalar la impregnación de madera con metacrilato de metilo y su posterior polimerización in-situ por irradiación gamma. También en Rusia, como en otros países, se propició este tipo de estudios, resultados obtenidos indican mejoramiento en propiedades mecánicas y en estabilidad dimensional de las maderas impregnadas con polímero respecto a las sin impregnar (4).

Durante la década del sesenta y también la del setenta se tiene información sobre procesos de impregnación, sobre cinéticas de polimerización, efectos de la dosificación y otros factores relacionados a la conversión de monómero a

polímero, las propiedades físicas y mecánicas de los compuestos madera-plástico.

Algunos países productores de madera, tal como Canadá, Finlandia, Alemania, Austria, Checoslovaquia y Hungría han desarrollado programas relacionados con maderas impregnadas con polímeros (4). De los estudios iniciales se originaron procesos comerciales de producción de madera impregnada, como las "Novawood", utilizando irradiación gamma y también de electrones.

La polimerización también se ha logrado mediante el uso de iniciadores radicalarios a través de procesos termocatalíticos (4). Los resultados obtenidos muestran que estos últimos presentan características mecánicas algo inferiores que cuando se utiliza irradiación. La irradiación puede ser más efectiva que el proceso termocatalítico ya que podría involucrar el injerto de las cadenas poliméricas a la matriz madera, por otra parte al utilizar temperaturas más bajas se minimiza la pérdida de monómero por evaporación, de todas formas el proceso por irradiación requiere de la correspondiente fuente de radiación y lo que ella involucra en cuanto a manejo e inversión.

En trabajo recientemente publicado (5), se establece, mediante microscopía óptica, que en la polimerización termocatalítica de estireno impregnado a madera de pino (*Pinus elliottii*), no se produce unión química (injerto) del polímero a la matriz madera.

En el presente trabajo se estudia la polimerización termocatalítica de estireno impregnado a madera de pino, como también se determinan ciertas propiedades mecánicas, las que se comparan para las maderas impregnadas con polímero, MIP, frente a las correspondientes a maderas sin impregnar, MSI.

EXPERIMENTAL

A. Materiales

Estireno puro, Petrobras (Brasil), estabilizado con 20 ppm

*Departamento de Química, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile. Casilla 5659, Correo 2, Santiago.

de ter-butilcatecol, donado por Química Harting S.A., se utilizó sin ulterior purificación.

Peróxido de benzoilo p. s. Merck, se utilizó tal como recibido.

Las probetas de madera de pino insigne, dimensionadas para los diferentes ensayos, fueron donadas por Departamento de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.

B. Impregnación

Las diferentes probetas de madera (especímenes para Flexión Dinámica, Flexión Estática, Dureza, y Absorción de Agua) fueron impregnados siguiendo el mismo procedimiento, independientemente de su forma y dimensiones.

Previo a la impregnación, los especímenes se llevaron a un contenido de humedad (C.H.) uniforme, alrededor del 12%. Los especímenes, debidamente pesados, se introdujeron a la cámara de impregnación en donde se evacuaron a una presión de 637 mm Hg durante 30 minutos. Luego, manteniendo el vacío, se deja escurrir el estireno, con el peróxido de benzoilo disuelto, hasta cubrir completamente los especímenes. Finalmente, con nitrógeno se lleva a una presión de 1,27 kg/cm² y se deja embeber durante 3 horas. Completado este tiempo se disminuye gradualmente la presión y se sacan uno a uno los especímenes, se envuelven en papel aluminio y por diferencia de peso se establece la cantidad de monómero incorporado.

Ensayo	Norma	Dimensiones (cm)		
		Tang.	Radial	Axial
Flexión Estática	AFNOR NF B 51-008	2,0	2,0	34,0
Flexión Dinámica	AFNOR NF B 51-009	2,0	2,0	30,0
Dureza	AFNOR NF B 51-003	5,0	5,0	5,0
Absorción Agua		2,0	2,5	1,5

E. Absorción de Agua

Para establecer absorción de agua tanto por las MIP como por las MSI, se sumergieron las probetas en recipientes conteniendo agua. Cada cierto número de horas se retiraban los especímenes y se establecía su variación en peso. Se cambiaba el agua y se volvía a sumergir la probeta por otro lapso de tiempo. Se trabajó a temperatura ambiente.

Resultados y discusión

Las condiciones para la polimerización en masa del estireno se establecieron experimentalmente: 3% iniciador peróxido de benzoilo y 5 horas a 80°C. Obteniéndose conversión monómero a polímero prácticamente completa y poliestireno con peso molecular 34.000.

El proceso de impregnación/polimerización, a partir de probetas acondicionadas, siguió la secuencia: evacuado (eliminar aire de los poros), impregnado (incorporar solución monómero/iniciador en la matriz madera), polimerización (conversión monómero a polímero). La información disponible indica que se debe usar maderas con humedad remanente, a fin de no cerrar los ductos que conectan los poros, lo cual sucedería si la madera se llevase a sequedad completa.

La Tabla 1 muestra los resultados experimentales correspondientes a la impregnación de madera de pino con

C. Polimerización

Los especímenes impregnados y envueltos en papel aluminio se introdujeron en un baño de agua a 80°C, a una profundidad de 50 cm, a fin de evitar la pérdida de monómero. Una vez completado el tiempo de polimerización, los especímenes se llevan a peso constante, estableciéndose el contenido de polímero y con ello la conversión de monómero a polímero.

El polímero se caracterizó en cuanto a su peso molecular mediante la determinación de su viscosidad intrínseca en cloroformo a 25°C y la relación de Mark-Houwink-Sakurada: $[\eta] = K (\overline{M}_v)^a$; en donde, para el sistema en estudio, $K = 1,12 \cdot 10^{-4}$ dL/g y $a = 0,73$ (6).

D. Pruebas Mecánicas

Los ensayos de flexión dinámica (tenacidad), flexión estática y dureza, se realizaron en una máquina universal de ensayos AMSLER (Alfred Amsler, Schaffhausen, Suiza) de carga máxima 4.000 kg, perteneciente al Departamento Tecnología de la Madera, Agronomía, Universidad de Chile.

Las probetas utilizadas corresponden a las especificaciones de cada ensayo (7):

monómero estireno conteniendo en solución un 3% en peso de iniciador peróxido de benzoilo, seguida por la polimerización del estireno. Los especímenes impregnados corresponden a las probetas a utilizar en los diferentes ensayos de resistencia mecánica y de comportamiento frente a agua. Los resultados que se reportan corresponden a valores promedios de al menos 5 especímenes.

Como puede apreciarse de la Tabla 1, la densidad de la madera impregnada con poliestireno, MIP, prácticamente es el doble de la densidad de la madera sin impregnar, MSI. Así la MIP tiene la apariencia y consistencia de maderas duras, lo cual aumenta sus posibilidades de empleo como también su durabilidad.

La incorporación de poliestireno fue entre 73 y 94% en peso, lo cual está de acuerdo con la alta porosidad de este tipo de madera, al mismo tiempo que muestra la efectividad del proceso de impregnado utilizado. En el caso de los especímenes de dureza, la incorporación de polímero fue algo menor, esto se explica al tener en cuenta el tamaño y especialmente la forma de las respectivas probetas, cubos de 5 cm de aristas, en donde para lograr una impregnación completa el impregnante debe penetrar una sección que es más del doble que la correspondiente a las otras probetas. Posiblemente si los especímenes de dureza se embebiesen por tiempo más largo se alcanzaría incremento en peso similar que para las otras probetas.

Tabla 1
MADERA DE PINO IMPREGNADA CON POLIESTIRENO

Especimen	Cont.	Vol.	MSI		MIP		Relac.	Mv
	Hum. %	mL	Peso g	d g/mL	Peso g	d g/mL	Peso MIP/MSI	$\times 10^{-4}$ g/mol
F. Estática	9,7	136	77,43	0,569	149,25	1,097	1,93	5,27
F. Dinámica	9,6	120	65,51	0,546	126,96	1,058	1,94	5,26
Dureza	10,3	125	65,22	0,522	112,63	0,901	1,73	4,79
Absn. Agua	9,2	18,75	9,52	0,507	17,81	0,950	1,87	5,40

La última columna de la Tabla 1 muestra los pesos moleculares de los polímeros impregnados y posteriormente extraídos y recuperados por precipitación con metanol. Los pesos moleculares resultan ser similares para las diferentes probetas, aunque más altos que los del polímero que se obtiene en la polimerización en masa in vitro que fue de 34.000.

La Tabla 2 muestra los resultados alcanzados para las pruebas mecánicas tanto para las MSI, como para las MIP. En todos los casos estas últimas mostraron, como era de esperar, mayor resistencia mecánica, destacando la correspondiente a flexión dinámica, en donde las MIP muestran valores algo más de cuatro veces los medidos para las MSI. En el caso de la dureza se aprecia que la dureza radial y la axial muestran un aumento de 2,5 a 2,6 veces respecto al de las MSI, mientras que para la dureza tangencial este aumento fue de 3,86 veces. Es decir, la dureza tangencial, que es el valor relativo más bajo en las MSI, pasa a ser el más alto en las MIP destacando la incidencia, en cuanto a dureza, que significa la incorporación de poliestireno.

La Figura 1 muestra la absorción de agua respecto al tiempo de inmersión, para especímenes de MSI y de MIP, expresada como porcentaje del aumento en peso respecto al peso de la madera sola. Según estos resultados las MIP absorben alrededor de 2,5 veces menos agua que las MSI, lo cual es indicativo, por un lado, que la incorporación de polímero es una buena barrera respecto a la absorción de agua y, de otra parte, que al impregnar las maderas junto a incrementarse sus propiedades mecánicas se mejora significativamente su estabilidad dimensional. Todo esto amplía y diversifica el empleo de las maderas blandas, como es el

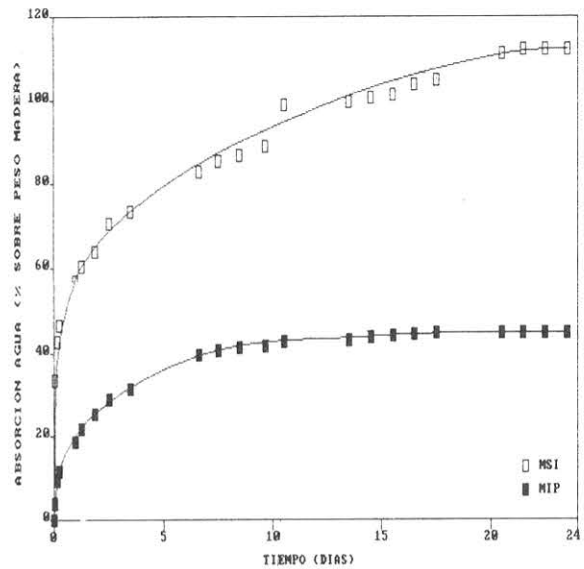


Figura 1. Absorción de agua respecto al tiempo de inmersión para madera de pino impregnada con poliestireno.

pino insigne, en aplicaciones como ser: mangos de cuchillería, pisos (parquet), equipos y aditamentos industriales y agrícolas, enchapados de madera, utensilios deportivos y aun instrumentos musicales.

Tabla 2
PRUEBAS MECÁNICAS A MADERA DE PINO IMPREGNADA CON POLIESTIRENO

	Madera sin impregnar	Madera impregnada polímeros	Relación MIP/MSI
Flexión Estática, kg/cm ²	860,5	1485,8	1,70
Flexión Dinámica, mkg/cm ²	0,1300	0,5275	4,06
Dureza. Radial, kg	375,5	825,0	2,52
Dureza. Tangencial, kg	246,3	950,0	3,86
Dureza. Axial, kg	431,3	1103,0	2,56

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible por el respaldo financiero de la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Santiago de Chile, DICYT-USACH. Los autores de este trabajo desean agradecer a los profesores Dr. Juan Donoso G., y Mag, Tomás Karsulovic C., del Departamento Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, por los especímenes de madera proporcionados y por la ejecución de ensayos mecánicos a MSI y MIP.

REFERENCIAS

1. F.M. RABAGLIATI y L.J. BARCO, *Ciencia e Ing.*, 17, 133 (1979).
2. *Tesis de Grado*. Licenciatura en Química. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
—LIDA J. BARCO C., *Morteros Impregnados con Polímeros. Parte I. Impregnación con Metacrilato de Metilo y con Estireno*. Marzo 1977.
—HÉCTOR A. HERNÁNDEZ E., *Morteros Impregnados con Polímeros. Parte II. Impregnación con Resina Poliéster Insaturado/Estireno*. Noviembre 1977.
3. —LUIS J. ROJAS R., *Morteros Impregnados con Polímeros. Parte IV. Perfil de Impregnación. Caracterización de la impregnación y del Polímero Impregnado*. Octubre 1980.
—EDUARDO E., HURTADO C., *Morteros Impregnados con Polímeros. Parte V. Impregnación con Poli (estireno-co-metacrilato de metilo)*. Julio 1985.
—JOSÉ T. ROJAS, *Morteros Impregnados con Polímeros. Parte VI. Impregnación con Poli (estireno-co-acrilonitrilo)*. Septiembre 1985.
—ROMEL ARAUJO C., *Morteros Impregnados con Polímeros. Parte VII. Impregnación con Poli (acrilonitrilo-co-metacrilato de metilo)*. Julio 1986.
4. JOHN A. MASON and LESLIE H. SPERLING, *Polymer Blends and Composites*, pp. 336-346, Plenum Press. New York, USA (1976).
5. S. MANRICH and J.A. MARCONDES-AGNELLI, *J. App. Polym. Sci.*, 37, 1777 (1989).
6. J. BRANDRUP and E.H. IMMERGUT. *Polymer Handbook*. 2nd. Ed., p. IV-17, J. Wiley and Sons, USA (1975).
7. *Association Francaise de Normalisation*. Bois. Eprovettes D'Essais. NF B 51-003, -008, -009. Paris, Francia (1942).