

USO DE MATERIALES RECUPERADOS PARA LA CONFORMACIÓN DE PLACAS DE AGLOMERADO UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DEL MUEBLE

Rivarola, A., Rojo, L., Arena, A.P.

Grupo CLIOPE “Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable”
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza. Rodríguez 273 Ciudad Mendoza.
CP 5500. Tel. 0261-4239119
andreari@frm.utn.edu.ar

RESUMEN: La cantidad de madera virgen requerida como materia prima en la fabricación de placas de aglomerado ha crecido por la alta demanda que tienen los muebles fabricados con ellas. Esto ha determinado problemas de disponibilidad y de costos, que impulsan a la búsqueda de materiales alternativos para su conformación. En muchos países europeos, el porcentaje de sustitución de materia prima virgen por material reciclado en la fabricación de paneles aglomerados ronda ya el 70 %. Por otra parte, los adherentes utilizados liberan grandes cantidades de compuestos orgánicos volátiles, con sus consecuencias nocivas para el ambiente de trabajo. En este trabajo se resumen las experiencias realizadas con distintos materiales para sustituir en parte la materia prima, y para eliminar el uso de adhesivos de base solvente. Se ha realizado una búsqueda de materiales disponibles, se realizaron pruebas de conformación de placas, así como también pruebas de comportamiento de distinta índole sobre el producto obtenido, para su comparación con las placas tradicionales.

PALABRAS CLAVES: placas aglomeradas, impacto ambiental, recuperación de materiales

INTRODUCCIÓN

La idea del planeta como una fuente inagotable de recursos y como sumidero de residuos infinito es ya cosa del pasado, al menos en los sectores científico-académicos. El paradigma actual del desarrollo sostenible nos obliga a pensar no sólo en la satisfacción de nuestras necesidades, sino también en la de las generaciones futuras, a partir del concepto de desarrollo sustentable surgido a partir de la célebre definición elaborada por la Comisión Brundtland “...meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” (satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias), ha llevado a plantear la exigencia al sector productivo de cambiar el punto de vista clásico con que se diseñan sus productos, teniendo presente la necesidad de preservar los recursos, que son finitos, y de mitigar las consecuencias ambientales derivadas de sus transformaciones en el sector productivo.

En los últimos años, se ha puesto el foco en el desarrollo de tecnologías limpias que comenzaron a complementar la estrategia usual de la regulación para la protección ambiental. En efecto, en lugar de descansar únicamente en el control de la contaminación al final de la tubería (end of pipe), se comenzaron a promover tecnologías que in primer lugar reducen los procesos y la producción de contaminantes en la fuente (waste reduction, o pollution prevention), en lugar de solucionar el problema de los contaminantes producidos.

La reducción de los desperdicios originados en la producción, junto con el reciclado de residuos, el reuso de los productos, la agricultura de bajo consumo, la eficiencia energética, la eficiencia en el uso del agua, el uso de recursos renovables o la desmaterialización son citados como ejemplos de lo que genéricamente se conoce como tecnologías limpias.

En este trabajo se propone aplicar algunas de estas estrategias en el proceso de elaboración de placas de aglomerado de madera. El mercado de las placas de aglomerado de madera ha registrado una tendencia creciente en cuanto a la capacidad de producción de las empresas fabricantes, y el mercado sudamericano es uno de los más dinámicos en los últimos años (Wadsworth, J, 2003). Este crecimiento determina un problema de disponibilidad de materia prima, ya que el proceso clásico utiliza madera virgen en altas proporciones, lo que a su vez trae aparejado problemas de competitividad debido a su alto costo. Esto motiva que se esté procurando encontrar soluciones sustituyendo total o parcialmente la madera virgen por materiales reciclados, que incluyen generalmente residuos de la construcción, material de embalajes, viejos muebles y otros materiales similares.

Dicha problemática se ve acompañada con el problema ambiental derivado del desprendimiento de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) de los solventes utilizados en los adherentes requeridos para la conformación de las placas aglomeradas. Entre estos compuestos se encuentran tolueno, benceno y formaldehído.

Se presenta así una situación que requiere la solución de dos problemas ambientales, uno relacionado con los recursos utilizados y otro con las emanaciones contaminantes, que poseen fuertes repercusiones sobre el plano económico, y que determinaron la realización del presente trabajo, orientado a la búsqueda de un material reciclado que reemplace total o parcialmente a la madera virgen, y que pudiera ser conformado en placas sin la necesidad de utilizar adhesivos de base solvente.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo adoptada incluyó las siguientes etapas:

Selección de materiales

1. Construcción de moldes
2. Construcción de probetas de ensayo
3. Realización de pruebas

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS

El material buscado, además de resolver los dos aspectos problemáticos identificados, deben cumplir otros requisitos: bajo costo, y alta disponibilidad, dados los elevados volúmenes requeridos para satisfacer la demanda de placas aglomeradas.

Con estas premisas se comenzó la investigación, analizando primeramente la disponibilidad de materia vegetal residual de los procesos agrícolas característicos de la región, incluyendo sarmiento, carozos de duraznos, damascos, cerezas o ciruelas, cáscaras de frutos secos como almendras o nueces, y piñas. Sin embargo los resultados, por diferentes motivos, no fueron satisfactorios, o las cantidades disponibles no eran atractivas, en algunos casos por la existencia de mercados alternativos para el uso de esos materiales que los hacían caros para el propósito de este trabajo. Por otra parte, estos materiales no ofrecían alternativas sencillas de sustitución de adherentes que resolvieran el problema de la emisión de VOC's.

Esto determinó la necesidad de explorar materiales de otro tipo, en particular plásticos que ofrecían la posibilidad de ser mezclados en estado de fusión con otros materiales, eliminando la necesidad de utilizar adhesivos. Uno de los materiales plásticos de mayor disponibilidad para su reciclado lo constituye el PET proveniente de los envases de bebidas gaseosas desechadas, y que constituyen un serio problema ambiental. Sin embargo no resulta apropiado para estos fines, como lo demuestra la tabla I (Fuente: Chelsea Center for Recycling Economic development. University of Massachusetts. Technical Report N°19, Abril 2000). Se analizó a continuación la posibilidad de utilizar resinas termoplásticas como polietileno y polipropileno. La selección de estos materiales se fundamentó en el conocimiento de su comportamiento, así como en sus antecedentes como sustituto de los productos de madera o en combinación con ésta, y en la amplia disponibilidad de material plástico de desecho que es posible encontrar en los vaciaderos de residuos. Por otra parte, el punto de fusión de estos materiales es semejante a la temperatura utilizada actualmente en el proceso tradicional de conformación de las placas de aglomerados.

#	NAME	INITIALS	CONSUMER USE	APPROPRIATE FOR COMPOSITES	PRACTICAL FOR COMPOSITES
1	Polyethylene terephthalate	PETE or PET	Soda and Water Bottles	No	No
2	High Density Polyethylene	HDPE	Milk, cider, and detergent bottles, some plastic bags	Yes	Yes
3	Polyvinyl Chloride	PVC	Household cleaners, cooking oil	Yes	Possibly
4	Low Density Polyethylene	LDPE	Most plastic bags, flexible lids	Yes	Yes
5	Polypropylene	PP	Margarine tubs and yogurt containers	Yes	Possibly
6	Polystyrene	PS	Styrofoam	Yes	No
7	Other	n/a	Specialty packages, Multi-Layer	Possibly	Possibly

Tabla I. Posibles uso de materiales plásticos recuperados.

CONSTRUCCIÓN DE MOLDES

Para la fabricación de probetas de placas aglomeradas conformadas con los materiales alternativos fue necesario construir un molde que pudiera soportar las temperaturas de fusión de los termoplásticos (cerca de los 200 °C), y las presiones de conformación.

El molde se construyó en acero dulce, en el laboratorio de mecánica de la Facultad. Las dimensiones del molde fueron determinadas en función de las del horno donde se realizaría la fusión de los termoplásticos, y considerando las dimensiones apropiadas para la posterior realización de pruebas de resistencia a la tracción, flexión y corte. La elección de la altura del mismo, se decidió teniendo en cuenta la densidad de los materiales involucrados, el espesor pretendido de la placa, el rango de variación de la proporción madera-plástico, y en función del nivel de llenado del recipiente para evitar posibles derrames de la mezcla, teniendo en cuenta la importante cantidad de aire que se encuentra entre las partículas de plástico, y que hace que ocupen un gran volumen antes de ser sometidos a presión. Las dimensiones finales del molde fueron de 11,9 cm x 13 cm x 6,35 cm .

FABRICACIÓN DE PROBETAS

Seleccionados los materiales que ofrecían buenas posibilidades de utilización, se fabricaron probetas de placas de madera y plástico en laboratorio, utilizando viruta de madera mezclada en distintas proporciones ya sea con polietileno o con polipropileno. Las experiencias se llevaron a cabo a escala piloto en el laboratorio de Ing. Civil de la UTN-FRM, utilizando una prensa de ensayos y un horno eléctrico.

Las primeras pruebas se realizaron utilizando partes iguales en volumen de viruta de madera y de plástico. La granulometría de la madera utilizada fue la habitual en la conformación de placas aglomeradas. Se utilizó alternativamente polietileno de baja densidad molido y en pellets, para determinar cuál de las alternativas ofrecía mayores ventajas.

Los materiales se mezclaron de modo de obtener una masa homogénea antes de ingresarla al molde. Durante la fabricación de las tres primeras placas, el polietileno utilizado presentaba la forma de film molido, lo que se traduce en un mayor volumen de material de baja densidad. Esto determinó que el procedimiento de llenado del molde se realizara por etapas. En tanto para la obtención de la última placa, se utilizó polietileno en forma de pellet, lo que significó que la mezcla fuese agregada en el molde, en un sólo paso. Incorporada la totalidad del material se procedió al horneado hasta alcanzar la temperatura fijada. La masa fundida finalmente se trasladaba en el molde a la prensa, donde se le aplicaba una fuerza a velocidad aproximadamente constante, alcanzándose distintos valores de presión, indicados en la Tabla N° II. Finalizada la etapa de presión, se dejó enfriar el molde y se procedió a desmoldar la probeta.

Las dificultades para desmoldar las probetas determinaron la realización de distintas pruebas, utilizando aceites y papeles que evitaran la adherencia de las probetas con las paredes del molde. En la siguiente tabla se presentan los parámetros de operación más importantes.

Placa	Composición MP	T _h °C	P _f tn	T _i p	Papel	h _i mm	h _f mm	δ kg/dm ³	ρ dm ³ /kg	V dm ³
1	mi VF + F	160	8	80	NO	6	29.85	678.05	0.00147	0.62
2	70% de mi VF + F	140	6	80s	NO	6	17.3	785.28	0.00127	0.36
3	1/3 mi VG + F	160	6	40 s	SI	6	9.04	713.68	0.00140	0.19
4	mi VF + P	180	6	40 s	SI	6	26.17	817.41	0.00122	0.54

Tabla II. Datos de composición, materias primas y proceso.

Símbolos

m_i = 146.54g de Madera + 323.71 g de PEBD Cristal

VF: Viruta Fina Th: temperatura media de horneado hi: altura inicial de la placa

VG: Viruta Gruesa Tih: tiempo medio de horneado hf: altura final de la placa

F: Film molido Pf: presión final ρ: peso específico

P: Pellets Tip: tiempo de prensado a la presión final δ: densidad

Con este procedimiento se realizaron cuatro ensayos, cuyas características se resumen en la Tabla N° III.

	PLACA 1	PLACA 2	PLACA 3	PLACA 4
ANCHO	13.9375 cm	13.89 cm	13.8625 cm	13.855 cm
ALTO	2.985 cm	1.73 cm	0.90375 cm	2.6175 cm
LARGO	14.83 cm	14.81 cm	14.8025 cm	14.8 cm
VOLUMEN	616.98 cm ³	355.88 cm ³	185.45 cm ³	536.73 cm ³
PESO	420.4 g	282.7 g	135.6 g	441.4 g

Tabla III: Valores promedio de las placas obtenidas



Figura I . Vista de las 4 placas obtenidas

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la tabla N°II se observan variaciones en las cantidades utilizadas de material, y en las dimensiones finales alcanzadas. Esto se debió a las dificultades apuntadas en el apartado anterior, asociadas con la baja densidad del polietileno molido a granel, y al desmoldado. En efecto, para la fabricación de la placa N° 1 se trabajó con las cantidades de materiales previamente calculados, en tanto en el caso de las placas N° 2 y 3, se disminuyeron esas cantidades, buscando una alternativa que permitiese el llenado del molde en una sola etapa (esto ve reflejado en la altura final de las placas y sus respectivos volúmenes). Sin embargo, los intentos por solucionar este problema no tuvieron éxito, ya que el volumen de plástico calculado en todos los casos fue superior a la capacidad del molde, dado que al utilizar polietileno en forma de film molido se incorporaba gran cantidad de aire en la mezcla.

Para la conformación de la última placa, se utilizó polietileno en forma de pellets, esto último representa una diferencia notable a la hora de agregar los materiales en el molde, debido al menor volumen del material y mayor densidad, de esta manera se logro llenar el molde en un solo paso.

En la tabla N° III, se observan, las dimensiones de las piezas obtenidas, las mismas se calcularon como promedios de los valores medidos con un calibre. Se observa que la placa N° 4 es la que presentó menor variación en de sus dimensiones, es decir es la que mostró mayor simetría. Debido a esto último y a las mejoras que se habían logrado en el procedimiento de fabricación, se optó por tomar la placa N° 4 para realizar los ensayos de materiales.

PRUEBAS DE MATERIALES

Para la determinación de la resistencia de las placas, se desarrollaron experiencias siguiendo los procedimientos tradicionales de ensayo de materiales (González Arias A. et al 1982), en el Laboratorio del Ingeniería Civil de la UTN- FRM. Se utilizó como dispositivo de ensayo una máquina universal de ensayo “Mohr & Federhaft”, que permite realizar ensayos de compresión, tracción, flexión, corte y dureza. Se describen a continuación los ensayos correspondientes a la resistencia a la flexión, compresión, tracción, que se realizaron en dicha máquina. Posteriormente se describe el ensayo de impacto, el cual se realizó en la Máquina para Ensayos de impacto, según el Método IZOD, en la que se utilizó una la carga de trabajo de 17 kgm.

De la placa N° 4 elegida, se cortaron probetas de diferentes dimensiones, según las características solicitadas por el ensayo a realizar. Para la realización de las pruebas se tomaron temperaturas de bulbo húmedo y seco, de manera de conocer la humedad relativa en el ambiente en el momento de ejecución de los ensayos.

ENSAYO DE FLEXIÓN

Probeta N°	Escala a utilizar	Velocidad de carga	Carga de rotura	Tensión de rotura	Parámetro de comparación
1	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	2,5 Kg/seg	143 kg	137,2 kg/cm ²	148,8 kg/cm ²
2	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	2,5 Kg/seg	175 kg	168 kg/cm ²	148,8 kg/cm ²
3	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	2,5 Kg/seg	165 kg	158,4 kg/cm ²	148,8 kg/cm ²

Tabla N°IV. Resultados del ensayo de flexión

Se observó que la resistencia a la carga de flexión durante el ensayo resultaba mayor cuando el esfuerzo era aplicado sobre la cara superior, entendiéndose por cara superior a la que se encontraba en esa posición durante la fabricación, lo que indicaría

que la sedimentación de las materias primas en el molde, influye en la resistencia de la pieza. Se observó además un comportamiento más elástico bajo la acción de la carga en el caso 2 y 3, que en el 1.

Como parámetro de comparación se utilizaron los resultados del ensayo de flexión correspondientes a probetas de idénticas dimensiones, conformadas con el procedimiento tradicional de placas de madera aglomerada. Los resultados muestran valores de tensión de rotura comparables a los de las placas tradicionales, y en algunos casos, superiores (probetas 2 y 3 provenientes de la placa IV).

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta N°	Area de la sección ensayada	Escala a utilizar	Carga de rotura
1A	5,52 m ²	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	1655 kg
2I	6 m ²	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	1700 kg
3E	6,3 m ²	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	1350 kg
4H	6,5 m ²	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	1400 kg

Tabla N°V. Resultados del ensayo de compresión

Se observó en todos los casos al iniciar el ensayo y a medida que se aplicaba la carga, una fuerte oscilación de la aguja en la máquina de ensayo, lo cual indicaba el acomodamiento interno de las fibras de la pieza. Las dos primeras probetas fueron ensayadas en la dirección de compresión original, observando deformaciones por aplastamiento y roturas por tensiones tangenciales, en tanto las últimas probetas se ensayaron en sentido perpendicular a la que sufre la pieza durante su fabricación. En estos casos el patrón de rotura observado fue paralelo al plano de compresión inicial. De la tabla VI se desprende que las probetas para los últimos dos casos, colapsan a valores de carga inferiores que para los primeros casos, indicando una relación directa con el sentido en que se aplica la carga.

Los ensayos correspondientes a impacto y tracción presentaron diferentes inconvenientes. Por un lado durante el ensayo de tracción se observó que el pegamento utilizado no era el adecuado, invalidando el ensayo y los resultados obtenidos. En el ensayo de impacto en cambio no se obtuvieron resultados debido a la falta de sensibilidad del equipo utilizado (ver Tablas N° VII y VIII). Por este motivo se planea repetir estos ensayos, y compararlos con los correspondientes a placas conformadas en modo tradicional.

ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N°	Escala a utilizar	Carga de rotura	Observaciones
1	2000 Kg con divisiones cada 5 Kg	70 kg	Falta de linealidad de la carga Falla del pegamento

Tabla N°VI. Resultados del ensayo de tracción

ENSAYO DE IMPACTO

Probeta N°	Area de la sección ensayada	Escala a utilizar	Observaciones
1	68,48	17 kgm	La máquina no tiene la sensibilidad necesaria para el ensayo
2	102,08	17 kgm	La máquina no tiene la sensibilidad necesaria para el ensayo
3	81,40	17 kgm	La máquina no tiene la sensibilidad necesaria para el ensayo
4	90,16	17 kgm	La máquina no tiene la sensibilidad necesaria para el ensayo

Tabla N°VII. Resultados del ensayo de impacto

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, dado que el producto obtenido aporta soluciones al problema de sustitución parcial de materia prima y de emisión de compuestos orgánicos volátiles al eliminar la necesidad de incorporar adhesivos con solventes, mientras las características del producto obtenidas son adecuadas para los fines propuestos. No obstante, es necesario continuar avanzando para resolver los siguientes aspectos:

El material plástico utilizado es procesado previamente, de modo que se presenta disponible en dos modos: como pellets, que tienen la ventaja de presentar un bajo volumen específico pero un costo elevado, o como plástico triturado, que ocupa un volumen mucho mayor, lo que dificulta el llenado del molde, pero su costo es inferior. Se propone avanzar en la determinación de la solución óptima, contemplando aspectos energéticos, económicos y ambientales.

Por otra parte, el uso de material reciclado pone un nuevo conjunto de problemas a resolver en el proceso productivo de las placas, dado que la materia prima reciclada contiene grandes cantidades de impurezas, que deben ser eliminadas ya que la presencia de elementos pesados disminuyen la vida útil de las herramientas de corte utilizadas tanto durante la fabricación de las placas como en la posterior fabricación de muebles.

Esto deberá tenerse en cuenta para la eventual adopción de estos materiales en la fabricación en gran escala, ya que será necesario establecer estrategias de recuperación, selección, limpieza y trituración del material antes de su uso, de modo de obtener un producto de buenas características y de costo contenido, competitivo con las alternativas de mercado.

Se evaluarán además modificaciones en el proceso de conformación de las placas, atendiendo a las observaciones que se desprenden de las experiencias realizadas.

REFERENCIAS

Wadsworth, J. (2003). World wood-based panel industries. Panelboard Highlights. Metso Panelboard Customer Magazine 1, 2003.

Orus Asso F. (1985). Materiales de Construcción, 7ª edición, parte V, cap. 27 y 30. Editorial Dossat, Madrid.

Orus Asso F. (1990). Materiales de Construcción, 8ª edición, parte VI, cap. 35. Editorial Dossat, Madrid.

González Arias A. (1982). Laboratorio de Ensayos Industriales, 1ª edición, parte II, cap. 15 y 16. Ediciones Litenia, Buenos Aires.

ABSTRACT: The amount of wood required for the production of wood panelboards has increased due to the high demand of wood furnitures. This increasing demand is causing wood availability and cost problems. In many European countries, the quantity of raw wood which has been replaced by recycled materials to produce wood panelboards, is about 70%. Another problem with current technologies is release of VOC's due to the glues used for the conformation of the panelboard, with its very well known harmful consequences in the working environment. In this paper a description of the experiences carried on for solving these problems is given. Different recycled materials have been used for the preparation of panelboards with partial replacement of the virgin wood and the elimination of solvent-based glues. The obtained panelboards have been tested for comparison with the traditional ones.