

## **COMPORTAMIENTO A LA FLEXION Y ABSORCION DE HUMEDAD DE PLACAS DE AGLOMERADO Y POLIPROPILENO RECICLADO.**

**A. Rivarola<sup>1</sup>, L. Rojo<sup>1</sup>, P. Arena<sup>2</sup>**

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](mailto:andreari@frm.utn.edu.ar)

[lkrojo@frm.utn.edu.ar](mailto:lkrojo@frm.utn.edu.ar)

[aparena@frm.utn.edu.ar](mailto:aparena@frm.utn.edu.ar)

**RESUMEN:** La fabricación de placas aglomeradas tiene dos inconvenientes importantes: el consumo de madera virgen y la emisión de VOC's (compuestos orgánicos volátiles), localizados en el adhesivo utilizado, que tienen consecuencias ambientales ampliamente documentadas. Para mitigar estos efectos, se han realizado experiencias de conformación de placas sustituyendo en parte la madera virgen por material reciclado, el cual elimina además la necesidad de utilizar adhesivos. Este trabajo muestra los resultados obtenidos en los ensayos de flexión y de absorción de humedad de placas hechas a escala piloto, con distintas proporciones de madera y polipropileno reciclado, y su comparación con los valores de placas comerciales de un espesor semejante. Estos resultados resultan alentadores, ya que si bien presentan amplia variabilidad dada su conformación a escala no industrial, con las placas conformadas con material reciclado se están alcanzando valores de resistencia a la flexión cercanos a los comerciales en los ensayos realizados, y en la absorción de humedad los resultados son mejores que en las comerciales.

**Palabras clave:** placas aglomeradas, reciclado, resistencia a la flexión, absorción de humedad.

### **INTRODUCCION**

La toma de conciencia en cuanto a la idea de que los recursos del planeta son limitados ha generado el desarrollo de tecnologías limpias en la industria para complementar las estrategias de regulación para la protección ambiental. Entre estas estrategias, el uso de material reciclado es una de las que más beneficios producen, ya que se elimina la necesidad de utilizar materia prima virgen, y se disminuye la cantidad de residuos generada al reintroducir el material en un nuevo ciclo productivo.

Las placas aglomeradas constituyen un ejemplo de material donde es posible utilizar material reciclado con amplios beneficios. El gran consumo de madera virgen en la fabricación de placas de aglomerado asociado al mercado creciente de estos productos determina un problema de disponibilidad de materia prima, y ante la falta de esta materia prima surgen problemas de competitividad de las empresas. Por otra parte, los solventes utilizados en los adhesivos que se emplean en la conformación de las placas aglomeradas desprenden VOC's, entre los que se encuentran el benceno, tolueno y formaldehído.

Esto ha motivado la realización de un proyecto de búsqueda de soluciones a los problemas planteados, sustituyendo total o parcialmente la madera virgen por materiales reciclados. De acuerdo a los resultados obtenidos en experiencias anteriores (Rivarola et al, 2005 y 2006), donde se ensayaron distintos materiales plásticos y distintos tamaños de viruta, observando su influencia sobre la cantidad de material sedimentado (Fig. 1), se eligió utilizar polipropileno triturado (Fig. 2) y madera en forma de viruta gruesa (Fig. 3) donde se estudia la resistencia a la flexión y el porcentaje de absorción de humedad de las placas así conformadas, y cómo varían estas propiedades con distintas proporciones de plástico-viruta.



Figura 1. Sedimentación de viruta fina



Figura 2. Polipropileno recuperado (film molido)



Figura 3. Viruta gruesa.

## METODOLOGIA DE TRABAJO

Para llevar a cabo el propósito planteado, se siguió un esquema de trabajo estructurado en las siguientes etapas:

- Pesado de los componentes
- Conformación de la mezcla
- Fabricación de probetas
- Realización de ensayos
- Análisis de los resultados

Los materiales son pesados y mezclados de modo de obtener una masa homogénea antes de ingresarla al molde, el cual se reviste con papel aluminio como elemento antiadherente. En cuanto al procedimiento de llenado del molde, se realiza en una etapa, lo que constituye un importante diferencia respecto al llenado por etapas realizado en las experiencias iniciales.

Luego se procede al horneado hasta alcanzar la temperatura fijada, de aproximadamente 150 ° C. La masa obtenida es trasladada en el molde a la prensa, donde se le aplica una fuerza a velocidad aproximadamente constante hasta alcanzar el valor de 6 toneladas. La placa obtenida se deja enfriar y luego es desmoldada. 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. Se fabricaron seis placas variando las proporciones utilizadas de viruta gruesa y PP. En la tabla I se brindan detalles de la composición de las mismas.

PLACA	PROPORCION		DIMENSIONES MEDIAS: m.		
	pp	vg	largo	ancho	alto
13	70	30	0.145	0.132	0.0125
14	70	30	0.1494	0.1392	0.0083
15	40	60	0.1492	0.1396	0.007
16	60	40	0.1492	0.1391	0.0069
17	20	80	0.1402	0.1396	0.0101
18	80	20	0.1483	0.1383	0.006

Tabla I. Proporciones y dimensiones finales de las placas.

La placa 13 fue fabricada precalentando el molde durante una hora; posteriormente se colocó en el mismo la mezcla y permaneció en el horno durante 3 horas sin la tapa. El resto de las placas permanecieron en el horno durante 4 h. sin que existiera precalentamiento. El tiempo de prensado disminuyó desde la elaboración de la placa 15 en adelante, debido a la cantidad inferior de material ingresada al molde.

### Realización de ensayos

#### Ensayo de flexión

Para la determinación de la resistencia de las placas, se desarrollaron experiencias siguiendo los procedimientos tradicionales de ensayo de materiales (González Arias, A., 1982) en el Laboratorio del Ingeniería Civil de la UTN- FRM. Se utilizó como dispositivo de ensayo una máquina universal de ensayo “Mohr & Federhaff”, que permite realizar ensayos de compresión, tracción, flexión, corte y dureza. Se trabajó con una velocidad de carga aproximada de 5 Kg./s y una escala máxima de 2000 Kg., con una sensibilidad de 5 Kg./división.

Para realizar el ensayo de flexión se cortaron las probetas con una sierra eléctrica circular de uso doméstico. Debido al poco espesor de las probetas, fue imposible cortarlas de modo de obtener una sección cuadrada, por la

peligrosidad que presentaba el corte. En la mayoría de los casos se desprendió material y se obtuvieron bordes muy irregulares, por lo cual varias probetas fueron desechadas. (Fig. 4 y 5).

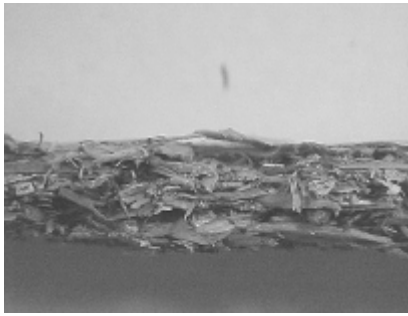


Figura 4. Probeta defectuosa.

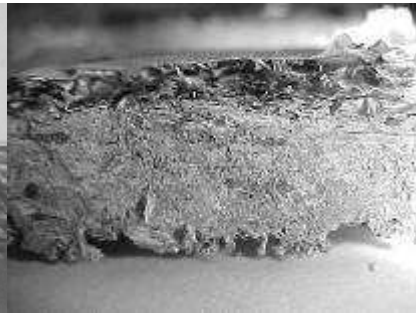


Figura 5. Probeta defectuosa.

Las dimensiones de las probetas y los resultados del ensayo de flexión se resumen en la Tabla II.

PROBETA	DIMENSIONES MEDIAS (m)			CARGA (Kg.)	TENSION (Kg/m <sup>2</sup> ) $\sigma=3Pl/2bh^2$
	LARGO	ANCHO	ALTO		
13-2	0.1287	0.0227	0.0117	15	724080
13-3	0.1326	0.0221	0.0122	18	820820
13-4	0.1326	0.023	0.0124	26	110.279
13-5	0.1326	0.0216	0.0129	18	751150
14-1	0.1493	0.0106	0.0079	13	2947850
14-2	0.1491	0.0139	0.0079	9	1556200
14-3	0.1492	0.0117	0.0079	8	1643390
14-4	0.1483	0.012	0.0083	8	1451550
14-5	0.1484	0.0106	0.0081	8	1725380
14-6	0.1481	0.0079	0.008	10	2966770
14-7	0.1482	0.0112	0.0086	8	1448580
14-8	0.1482	0.0117	0.008	8	1602560
14-9	0.1474	0.0134	0.0078	8	1471850
16-6	0.148	0.0113	0.0068	4	1148330
16-7	0.148	0.0124	0.0067	4	1077970
18-1	0.1473	0.0097	0.0057	No registrada	
18-2	0.147	0.0095	0.0051	No registrada	
18-3	0.1473	0.0075	0.0054	No registrada	
18-4	0.1483	0.0181	0.0065	No registrada	
18-5	0.1481	0.0099	0.0062	No registrada	
18-6	0.1474	0.0101	0.0057	No registrada	
18-7	0.1482	0.0082	0.0059	No registrada	
18-8	0.1481	0.0084	0.006	No registrada	

Tabla II. Resultados del ensayo de flexión.

Los valores obtenidos en las probetas de la placa 16 no deben ser analizados pues corresponden a una estimación de valores por debajo de la escala mínima de medición de la máquina de ensayos. Lo mismo sucedió con las probetas de la placa 18.

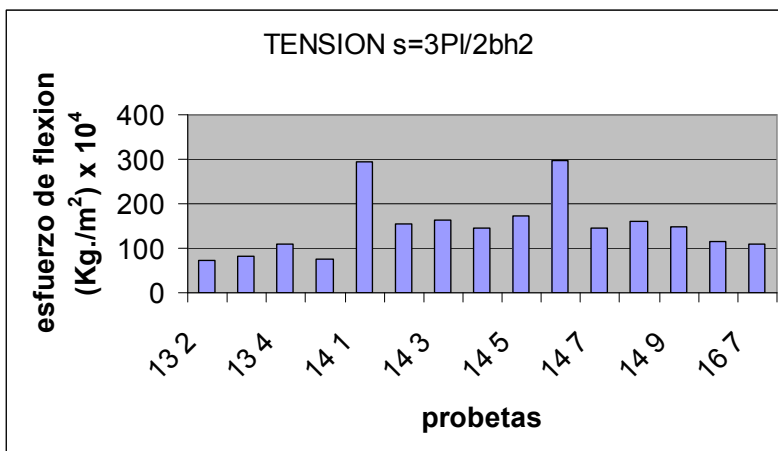


Gráfico I. Valores obtenidos en el ensayo de flexión realizado a las probetas de laboratorio.

Los ensayos se realizaron siguiendo un procedimiento normalizado, a excepción hecha de la sección de las probetas, ya que por razones mencionadas anteriormente fueron cortadas de sección rectangular y no cuadrada.

El valor característico promedio de resistencia a la flexión de una placa comercial de aglomerado de espesor igual a 0.010 m es 2126000 Kg./m<sup>2</sup>, y el de una placa de 0.012 m es 2270000 Kg./m<sup>2</sup>. A continuación se muestran los valores promedios obtenidos para cada placa ensayada.

PLACA	COMPOSICION		ESPESOR PROMEDIO (mm)	RESISTENCIA A LA FLEXION (Kg./m <sup>2</sup> )
	PP	VG		
13	70	30	12.5	849710
14	70	30	8.3	1868200
16	60	40	6.9	1113150
COMERCIAL 1	-		10	2126000
COMERCIAL 2	-		12	2270000

Tabla III. Comparación de resultados de ensayo de flexión.

Como se observa, con el procedimiento de conformación seguido se obtienen valores de resistencia a la flexión, sensiblemente inferiores a los comerciales. El siguiente gráfico muestra estos valores.

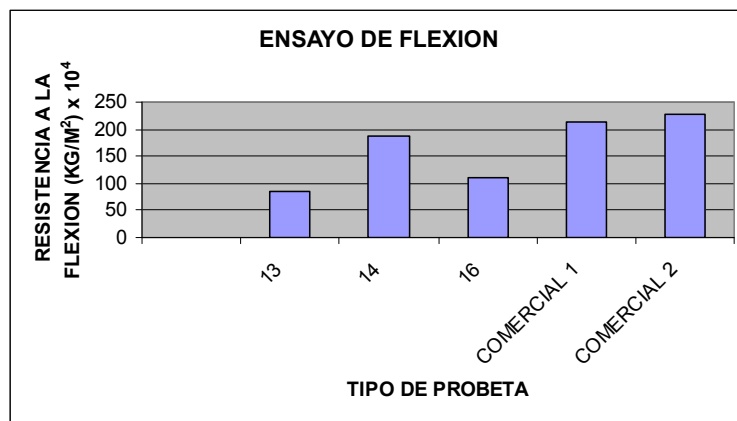


Gráfico II. Comparación de valores de resistencia a la flexión entre placas de laboratorio y placas comerciales de espesores similares.

#### Ensayo de absorción de humedad

Existen varias formas en que el agua se encuentra unida a un material; podemos diferenciar dos: humedad originaria y humedad higroscópica. El contenido de agua higroscópica que presenta un material es una magnitud que depende del tamaño de grano, de la temperatura a la que se realiza el ensayo y del grado de humedad del medio ambiente. Para su determinación es necesario eliminar la humedad de las probetas (humedad originaria) antes de comenzar el ensayo. Para ello se llevaron dos probetas a horno, sometiéndolas a una temperatura de 50° C, durante 24 horas. Las probetas secas fueron luego pesadas, y posteriormente sumergidas en un recipiente con agua, durante dos días. Acabado este tiempo, las probetas fueron extraídas y secadas con toallas de papel eliminando el agua superficial. Finalmente se las pesó.

El contenido de humedad higroscópica contenida en la muestra vendrá dada por:

$$\% \text{ Humedad higroscópica} = [(B-A) 100]/A$$

Donde "A" corresponde al peso de la muestra seca, y "B" al peso de la muestra húmeda.

La Tabla N° 4 y el Gráfico N° 3 muestran los valores obtenidos en este ensayo.

PROBETA	MASA SECA "A" (gr.)	MASA HUMEDA "B" (gr.)	% ABSORCION
13-1	9.4	12.2	29.79
13-2	6.5	8.6	32.31
13-3	7.1	9.15	28.87
13-4	8.2	10.9	32.93
14-1	3.6	4.4	22.22
14-2	3.4	4	16.67
14-3	2.8	3.1	10.71
14-4	3.2	3.65	14.06
16-1	2.6	3.5	34.61
16-2	2.3	3.2	38.26
16-3	2.5	3.55	42
16-4	2.4	3.3	37.5

Tabla IV. Resultados del ensayo de humedad

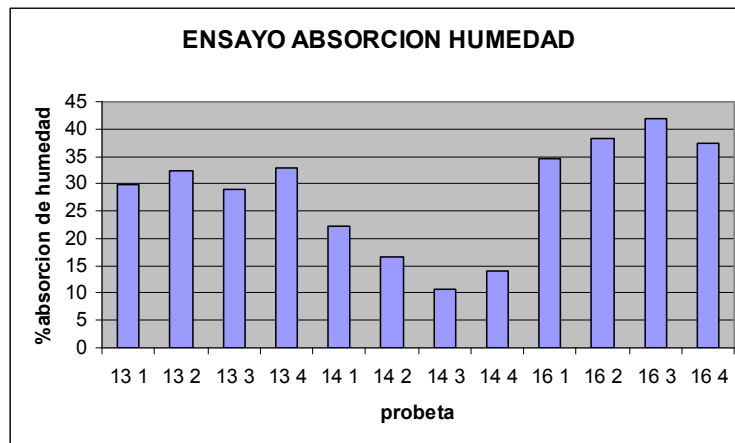


Gráfico III. Resultados del ensayo de absorción de humedad.

Como se observa ninguna de las probetas supera el 50 % de absorción de humedad. A continuación se representan estos resultados en función de la composición de las placas, y se indican además los valores correspondientes a las placas comerciales para su comparación (Tabla V y Gráfico IV).

PLACA	COMPOSICION		% ABSORCION HUMEDAD
	PP	VG	
13	70	30	30.975
14	70	30	15.915
16	60	40	38.09
COMERCIAL I			57
COMERCIAL II			49.3

Tabla V. Comparación del porcentaje de humedad entre placas de laboratorio y placas comerciales.

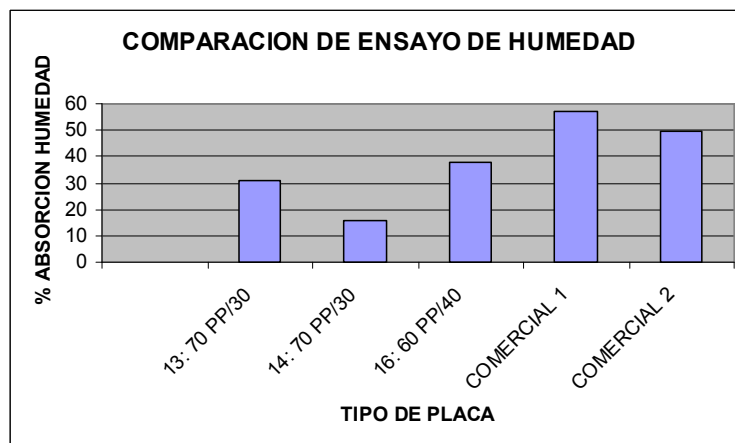


Gráfico IV. Comparación del porcentaje de absorción de humedad entre las placas de laboratorio y las placas comerciales de espesores similares.

#### *Análisis de los resultados y conclusiones*

La comparación de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión muestra dos aspectos esenciales: por un lado la amplia variabilidad de los valores obtenidos en las placas de material reciclado, comparados con los de las comerciales. Por el otro, que aquellos valores son sensiblemente inferiores a estos últimos, aunque en el caso de la placa 14 los valores se aproximan bastante más, resultando ser apenas un 12 % inferior.

Por el contrario, los resultados obtenidos en el ensayo de absorción de humedad, muestran un mejor comportamiento para las placas de material reciclado. Nuevamente la placa 14 es la que ha respondido con mejores resultados.

#### **CONCLUSIONES**

Los resultados encontrados son sin duda alentadores, ya que con las placas conformadas con material reciclado se están alcanzando valores de resistencia a la flexión cercanos a los comerciales en los ensayos realizados, y en la absorción de humedad los resultados son mejores que en las comerciales.

Las experiencias realizadas muestran por otra parte que es necesario mejorar el control sobre todas las variables de fabricación: temperatura, presión, espesor inicial y final, composición, a fin de obtener placas más homogéneas y resultados menos dispares, y mejorar los valores de la resistencia a la flexión.

#### **REFERENCIAS**

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

Rivarola, A., Rojo, L., Arena, A.P. (2005). Uso de materiales recuperados para la conformación de placas de aglomerado utilizados en la industria del mueble. Revista Avances en Energías Renovables y Ambiente, Volumen 9. INENCO, Salta

Rivarola, A., Rojo, L., Gardey Merino, M., Arena, A. P. Materiales alternativos para la fabricación de placas de aglomerado. Reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) y de residuos de procesos (RP) PROCQMA Universidad Tecnológica Nacional, ISBN 950-42-0056-7, 2006.

**ABSTRACT:** The main market for the boards of agglomerate of wood is the industry of the furniture, which shows a growing tendency. But the manufacture of these plates has two important disadvantages: the consumption of virgin wood and the emission of VOC's due to the solvents used in the adhesives. In order to mitigate those negative effects, some experiences have been developed for the conformation of plates in which part of the virgin wood have been substituted by recycled material, with the additional advantage of the elimination of the need of using adhesives. In this paper the results obtained during the flexion and humidity absorption tests of alternative agglomerate plates made up of recycled polypropylene and wood are shown and compared with those of the commercial plates of a similar thickness. Despite the wide variability of the results, these are promising since the alternative plates present flexion strength values close to those of commercial plates, while the humidity absorption tests show a better performance of the new plates.

**Keywords:** panel board, recycling, flexion resistance, humidity absorption