

MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE AGLOMERADO

Rivarola, A., Rojo, L., Gardey Merino, M, 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 int. 108

lkrojo@frm.utn.edu.ar

RESUMEN: El crecimiento de la industria de los muebles de oficina ha determinado un aumento de la demanda de placas de aglomerado de madera. Esto ha traído como consecuencia que haya aumentado en modo notable el impacto ambiental asociado a la producción de estas placas, principalmente en dos categorías de impacto: el consumo de madera (y sus impactos asociados), y la emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC's), que se desprenden de los adhesivos utilizados para la conformación de las placas. Esto ha determinado problemas de disponibilidad y de costos, que impulsan a la búsqueda de materiales alternativos para su conformación, entre estos se privilegian los materiales reciclados, ya que mientras alivian la presión sobre la producción de madera virgen, disminuyen la carga en los lugares de destino de los materiales de desecho. 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 %.

Estas consideraciones han determinado la realización del presente trabajo, que tiene el objetivo de encontrar alternativas a los problemas planteados. Para ello se ha realizado una búsqueda de materiales disponibles como sustituto total o parcial de la madera virgen, de sustitución de los adhesivos para eliminar la emisión de VOC's, la conformación de muestras de placas conformadas con los nuevos materiales, y el ensayo de las mismas.

INTRODUCCIÓN

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 encuentra 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 determinó la realización de esta investigación.

Esta situación ha determinado la realización un proyecto de desarrollo, donde se busca una alternativa que permita sustituir el uso de madera virgen, ya sea parcial o totalmente, y el uso de adhesivo para la obtención de las placas. En una publicación previa (Rivarola et al 2005) se presentaron los resultados obtenidos durante la primera fase del proyecto, que tenía como objetivo precisamente 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.

Entre los materiales considerados como sustituto de la madera virgen se comenzó con materia vegetal residual de los procesos agrícolas característicos de la región (sarmiento, carozos de duraznos, damascos, cerezas o ciruelas, cáscaras de frutos secos como almendras o nueces, y piñas), y luego se consideraron los plásticos reciclables como el PET y el polietileno, entre otros. La existencia de mercados alternativos para algunos de estos materiales, que determinaron en algunos casos altos costos para su utilización, o los resultados pobres obtenidos, determinó que la elección recayera sobre el polietileno y el polipropileno recuperados. Este material brindaba la posibilidad de actuar como adherente al producirse la fusión durante el proceso de conformación de las placas, eliminando el problema de las emisiones de VOC's.

En el presente trabajo se reportan los resultados obtenidos a partir de modificaciones en la metodología de determinación de la conformación de las placas, y los resultados de los ensayos realizados.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo adoptada incluyó las siguientes etapas:

- Fabricación de probetas de ensayo
- Realización de pruebas.
- Análisis de los resultados

FABRICACIÓN DE PROBETAS

De acuerdo a los resultados obtenidos en la primer experiencia, el material plástico utilizado 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. En esta experiencia, se propone utilizar plásticos tanto en forma triturada (film), como en forma de pellets y garantizar un adecuado llenado del molde, mediante la elección de una proporción de partes iguales en volumen de madera y plástico, tomando como referencia el volumen del molde a utilizar. Esta relación equivale en peso, a un poco más del doble del peso del plástico que el de la madera.

Los materiales de trabajo fueron los seleccionados durante la primer experiencia: madera en forma de viruta fina y gruesa, polietileno de baja densidad (PEBD) en forma de film molido y pellets y polipropileno (PP) como film molido, y las cantidades involucradas en la conformación de las placas fueron: 47,2 gr. de viruta y 107,9 gr. de plástico. 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. En la Tabla N° I se brindan detalles sobre la composición de las distintas placas, los parámetros de fabricación utilizados, y las dimensiones y características físicas principales de las placas resultantes.

Los materiales se mezclaron de modo de obtener una masa homogénea antes de ingresarla al molde. Este se encontraba revestido con papel aluminio como elemento antiadherente, salvo en el caso de la fabricación de la placa N° 6, donde el revestimiento utilizado fue grasa y papel de diario. El cuanto al procedimiento de llenado del molde, este se realizó en una etapa, lo que constituye un importante diferencia con respecto al llenado por etapas de la experiencia previa. Incorporada la totalidad del material se procedió al horneado hasta alcanzar la temperatura fijada. La placa obtenida, 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 placa.

Los parámetros de fabricación más importantes se resumen a continuación.

Placa	Composición	Th (°C)	Tih (h)	F (tn)	Tip (s)	Tipo de papel	hi (mm)	hf (mm)	Densidad (g/cm ³)
3	PE (f) + VG	160	-	6	40	Periódico	60	9.04	0.713
6	PP + VF	123	22.75	6	40	Periódico	60	8.6	0.906
7	PP + VG	127	4.167	6	40	Aluminio	60	11	0.668
8	PP + VF	126	4	6	40	Aluminio	60	10.76	0.588
9	PEBD (p) + VF	120	3.083	6	40	Aluminio	60	9.89	0.809
10	PEBD (p) + VG	116	3.117	6	40	Aluminio	60	9.37	0.802
11	PEBD (f) + VG	124	3.85	6	40	Aluminio	60	14.06	-----
12	PEBD (f) + VF	131	4.167	6	40	Aluminio	60	15.18	-----

Tabla N° I. Datos de composición, materias primas y proceso.

Símbolos: Th = temperatura media del horno
Tih = tiempo medio de horneado
F = fuerza aplicada
Tip = tiempo medio de prensado

h_i = altura inicial media de la placa
 h_f = altura final media de la placa
 PP + VF = polipropileno más viruta fina
 PP + VG = polipropileno más viruta gruesa
 PP + VF = polipropileno más viruta fina
 PEBD (p) + VG = polietileno en pellets más viruta gruesa
 PEBD (p) + VF = polietileno en pellets más viruta fina

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 y compresión, que se realizaron en dicha máquina.

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. Se realizaron además, ensayos de humedad.

ENSAYO DE FLEXIÓN

En las placas 11 y 12 el plástico utilizado -PEBD en forma de film molido- no se fundió suficientemente, debido a esto se decidió no usar estas placas en las pruebas posteriores.

El cálculo de la densidad de las placas 6 a 10, se realizó utilizando recortes de las mismas, obteniéndose los resultados que se muestran en la TABLA I.

COMPO SIC.	PROBETA N°	DIMENSIONES MEDIAS (cm.)				CARGA (Kg.)	TENSION $\sigma=3PI/2bh^2$
		LARGO	ANCHO	ESPESO R	SECCIÓN (cm ²)		
PE (f) + VG	3 A	14.83	1.6	0.75	1.2	30 (de canto)	234.375
	3 B	14.82	1.53	0.765	1.17	15 (de canto)	125.643
	3 C	14.74	1.7	0.9	1.53	55	599.128
PP + VF	6 A	14.73	1.656	0.797	1.32	20	285.196
	6 B	14.8	1.641	0.79	1.3	18	263.634
	6 C	14.78	1.385	0.792	1.1	10	172.66
	6 D	14.82	1.641	0.794	1.3	20	289.982
PP + VG	7 A	14.75	2.485	1.163	2.89	37	165.123
	7 B	14.8	2.775	1.12	3.11	30	129.275
	7 C	14.85	2.37	1.087	2.58	110	589.219
PP + VF	8 A	14.72	2.135	1.056	2.25	12.5	78.754
	8 B	14.75	2.08	0.972	2.02	15	114.495
	8 C	14.8	2.112	0.926	1.96	17	140.807
PEBD (p) + VF	9 A	14.745	2.013	1.192	2.4	10	52.444
	9 B	14.3	1.838	-	-	9	51.693

	9C	14.7	1.972	No apropiada	-	-	-
PEBD (p) + VG	10 A	13.83	2.073	1.017	2.11	20	139.920
	10 B	13.8	1.9	0.986	1.87	15	121.808
	10 C	13.8	2.024	0.95	1.92	12.5	102.646

Tabla N° II. Resultados del ensayo de flexión

Se observó que la resistencia a la carga de flexión durante el ensayo presentaba valores muy variables sobre probetas provenientes de una misma placa. Una posible razón de esta variabilidad podría estar vinculada a la falta de homogeneidad en el mezclado de las materias primas y a la sedimentación de las materias primas durante el llenado del molde, pudiendo influir estos en la resistencia de la pieza.

Las probetas fueron ensayadas, con aplicación del esfuerzo sobre la cara superior, entendiéndose por cara superior a la que se encontraba en esa posición durante la fabricación, salvo las probetas correspondientes a la placa 3, las cuales fueron ensayadas de canto (sobre cara lateral).

La placa N° 6, presentó valores de resistencia bastante parejos, aunque también fue la placa que permaneció mayor tiempo dentro del hormo, presentando por esto signos visibles de degradación del material y pudiendo ser considerada en el análisis comparativo.

De las probetas correspondientes a la placa N° 3, la 3A y 3B se deformaron hasta tocar la máquina (los valores obtenidos hasta ese momento eran respectivamente 70 y 50 Kg.) al ser ensayadas sobre su cara superior, por lo que se las ensayó nuevamente pero en posición de canto. En la probeta 3C hubo roturas, y de acuerdo a lo indicado por el microscopio (15 x), se observaron fibras largas de plástico (similar a las barras de silicona) que explicarían esta falla.

En la placa N° 7, las dos primeras probetas se ensayaron con la cara superior de prensado hacia arriba, y la tercera con la cara superior hacia abajo. Se observaron deformaciones en el plano de compresión. Algunas de las probetas tendían a recuperarse elásticamente y todas presentaron roturas en la zona traccionada, pero solo en las fibras superficiales. (Figura 1)



Figura 1

Las probetas de las placas 9 y 10 mostraron sedimentación de viruta, lo que influyó en la facilidad con que se rompieron. (Figura 2)



Figura 2

El gráfico N° 1 sintetiza los resultados de los ensayos de flexión.

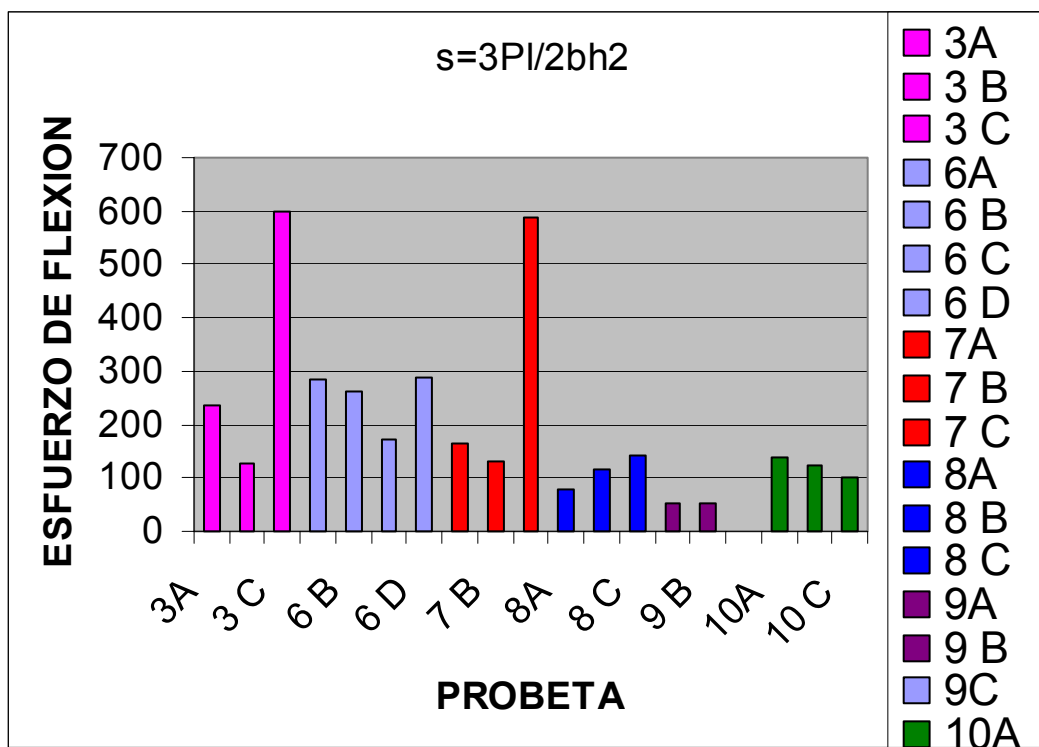


Gráfico N° I

ENSAYO DE COMPRESIÓN

PROBETA	LARGO	ANCHO	ESPESOR	FUERZA	SECCION	ESF. DE COMPRESION: $\sigma = F/\text{Área}$	OBSERVACIONES
6 A	2.27	0.99	0.82	-----	-	-	-----
6 B	2.3	1.17	0.86	1000	1.006	994.04	-----
6 C	2.96	0.852	0.87	-----	-	-	-----
6 D	3.11	1.32	0.822	290	1.978	146.61	-----
6 E	2.68	1.26	0.84	670	3.377	198.4	Adherencia
6 F	2.49	1.351	0.82	-----	-	-	-----
7 A'	2.83	1.25	1.18	37	1.475	25.08	Pandeo
7 A''	2.75	1.28	1.13	180	1.446	124.48	-----
7 B'	2.87	1.12	1.1	50	1.232	40.58	Pandeo
7 B''	2.65	1.1	1.13	400	1.243	321.80	-----
7 C'	2.48	1.4	1.13	180	1.582	113.78	Se observó fractura
7 C''	2.47	1.09	1.09	400	1.188	336.70	-----
8 A	2.77	1.845	1.04	130	1.919	67.74	Rompió/Sent. Comp.
8 B	2.3	1.226	0.918	80	1.125	71.11	Rompió/Perp.Comp. Poca adhesión
8 C	2.2	1.23	1.04	1000	1.279	781.86	No rompió/sent. Comp. /poca recup.
8 D	3.07	1.34	1.203	37	1.612	22.95	Rompió abanico
8 E	2.54	1.372	1.01	1000	1.386	721.50	No rompió/poca recuperación
8 F	2.08	1.135	1.06	45	1.203	37.41	Rompió/sent. Comp.
9 A	2.01	0.995	0.820	1000	0.816	1225.49	Perp. Comp. / Aplast. sin fractura
9 B	2.45	1.205	0.942	120	1.135	105.73	Pandeo/ rompió superficie
9 C	2.048	1.365	0.98	140	1.338	104.63	No hay fractura
9 D	2.6	1.14	0.88	1000	1.003	997.01	Comp. Sent. +/no rompió/alabeo
9 E	2.302	0.942	0.926	1000	0.872	1146.79	Perp. Comp. /compr. Ductile
9 F	2.216	0.96	0.84	1000	0.806	1240.69	Comp. sent. -/no rompió/ alabeo
10 A	2.91	1.31	1	-----	-	-	-----
10 B	3.09	1.08	0.852	-----	-	-	-----
10 C	2.723	1.3	0.9	-----	-	-	-----
10 D	2.65	1.43	0.824	145	2.184	66.39	-----
10 E	2.67	1.443	0.82	1000	1.183	845.31	-----
10 F	3.51	1.1	0.9	1000	3.861	259.00	-----

Tabla N° III. Resultados del ensayo de compresión

Las probetas correspondientes a las placas N° 3 y N° 6 (A, B, C Y D), no fueron ensayadas, debido a que presentaban espesores muy pequeños y los platos de la máquina de ensayo, se encontraban muy cerca uno de otro. Por esta misma razón, los ensayos de compresión no se realizaron bajo normas. Como medida preventiva, se decidió no aplicar a las probetas una fuerza superior a los 1000 Kg.

Durante este ensayo se obtuvieron resultados muy diversos, lo cual se vinculó con las irregularidades de algunas probetas (espesor variable) y la falta de homogeneidad del material en el molde.

Las placas N° 7 y 8, hechas con PP, luego de ser comprimidas muestran una rotura por capas, que indica poca adherencia en el material. (Figuras 3 y 4)



Figura 3

Figura 4

En las probetas correspondientes a la placa N° 9, se observó buena ductilidad y/o tenacidad del material. Esto puede ser vinculado con la utilización de plástico en forma de pellets, lo que permitió una mejor integración con la madera. Sin embargo, es necesario obtener una mayor homogeneidad durante la etapa de mezclado.

El gráfico N° 2 muestra los resultados de los ensayos de compresión.

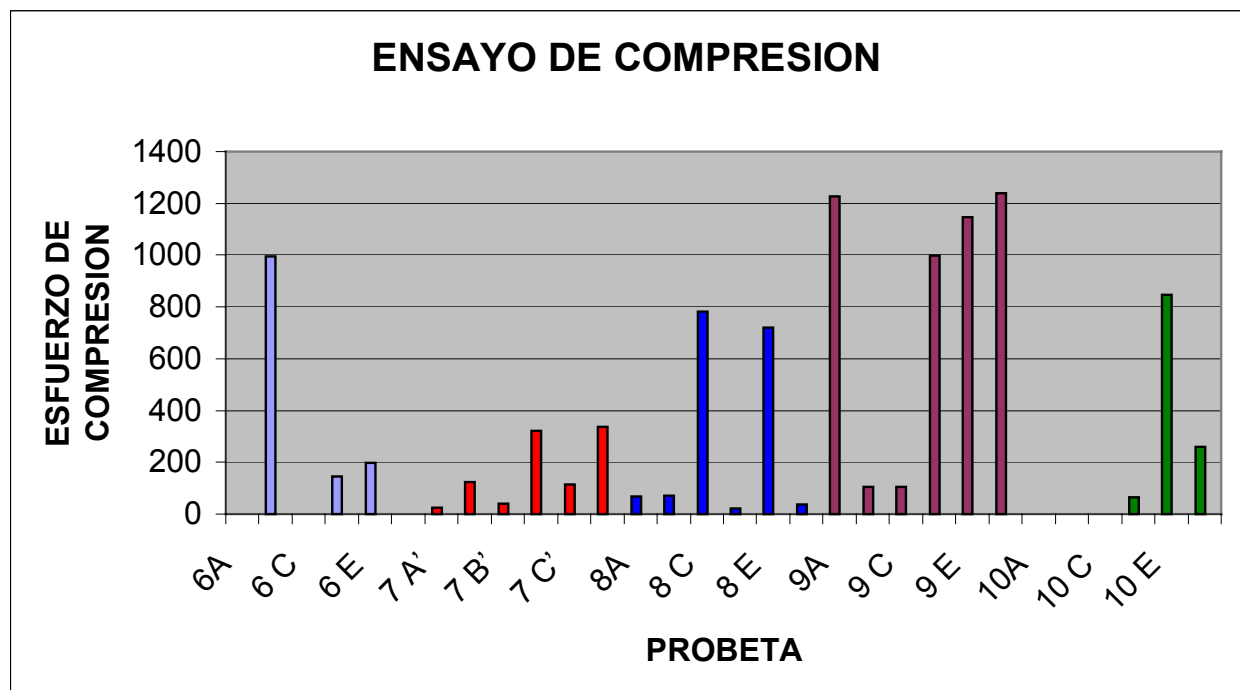


Gráfico N° II

ENSAYO DE HUMEDAD

Existen varias formas en que el agua se encuentra unida a un material, podemos diferenciar dos, humedad originaria y humedad higroscópica. Este 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 como 1º paso eliminar la humedad de las probetas (humedad originaria). 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 tres días. Finalizado 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.

PROBETA	MASA SECA A (gr.)	MASA HUMEDA B (gr.)	% ABSORCION
3 A	3.49	4.05	16.04
3 B	3.7	4.7	27.03
3C	3.51	4.3	22.51
6 A	1.84	2.03	10.326
6 B	2.61	2.97	13.793
6 C	2.63	2.92	11.027
7 A	2.66	3.85	44.737
7 B	2.68	3.8	41.791
7 C	2.69	3	11.524
8 A	2.02	2.89	43.069
8 B	2.09	3.16	51.196
8 C	1.96	2.65	35.204
9 B	1.23	1.49	21.138
9 C	1.23	1.51	22.764
10 A	2.93	3.74	27.645
10 B	2.03	2.41	18.719
10 C	1.97	2.32	17.766

Tabla N° IV. Resultados del ensayo de humedad

Los resultados obtenidos del ensayo de absorción de humedad fueron muy satisfactorios, ya que en casi todos los casos el porcentaje de absorción de humedad es inferior al 50%. Estos valores son muy aceptables porque las placas de aglomerado comerciales tienen un porcentaje de absorción de humedad superior al 100%.

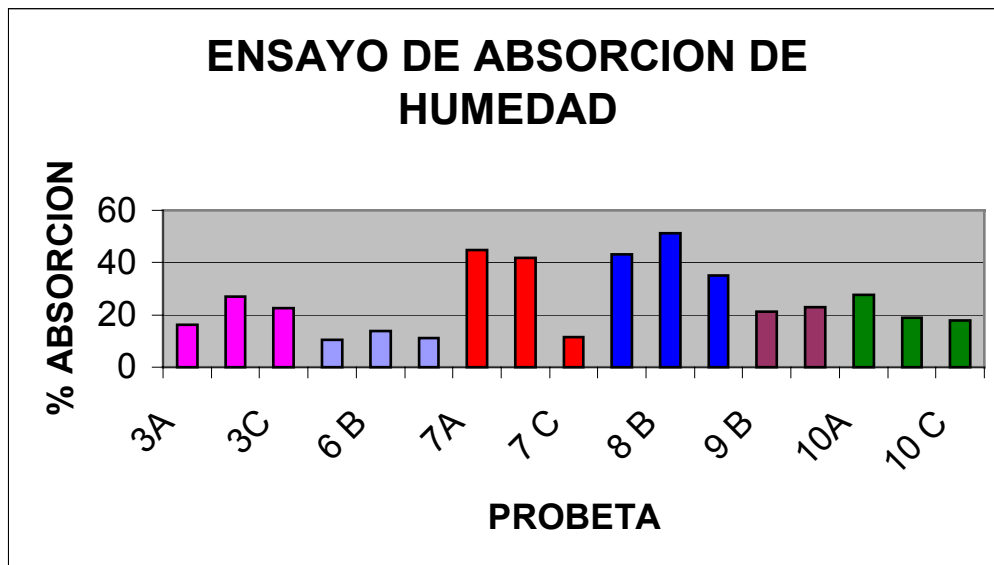


Gráfico N° III

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que el tipo de plástico utilizado presenta relación con el grado de absorción de humedad que denotaron las placas. Los menores valores de absorción, se obtuvieron sobre probetas de la placa N° 6, hecha con PP, sin embargo esta placa pasó muchas más horas en el horno si se la compara con las restantes. Por lo tanto si sólo se consideran, las placas que pasaron en promedio 4 horas en el horno, los valores más bajos se dan en la placa N° 10, hecha con PE.

También se observó una influencia del tipo de plástico, en relación a la adhesión de las partículas en las placas. Las placas que contenían PP presentaron una apariencia homogénea y compacta; las placas que contenían PE mostraban una gran sedimentación de la madera y los pellets no estaban bien integrados con la viruta. Las placas con PE molido (film) eran muy homogéneas pero la cantidad utilizada fue muy exagerada. (Figuras 5, 6 y 7)



Figura 5

Figura 6

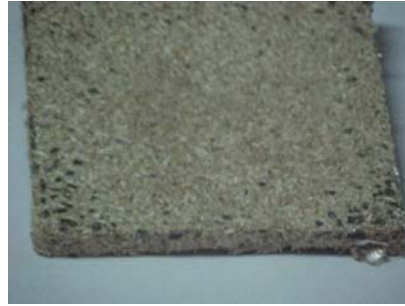


Figura 7

No es posible todavía establecer conclusiones acerca de la importancia del tipo de plástico o del tiempo de permanencia, puesto que existe variabilidad y se requiere una investigación específica para indagar sobre la dependencia de las variables involucradas, como lo son la humedad, el tipo de material, el tiempo de permanencia, la temperatura, etc.

Como se mencionó anteriormente, los porcentajes de absorción de humedad en las placas fabricadas en laboratorio son mucho mejores que los de las placas comerciales, lo que constituye una propiedad importante de las placas de aglomerado.

A partir de los resultados obtenidos, se pretende en lo inmediato explorar con mayor detalle la influencia del tamaño de la viruta, que se ha presentado como variable de relieve, la dependencia funcional del contenido de humedad, y la comparación de los ensayos con los de placas disponibles comercialmente en el mercado. También es necesario explorar métodos de elaboración que permitan mayor homogeneidad de la mezcla y realizar mejoras en el molde que se utiliza con el fin de obtener un mejor resultado final en las dimensiones de las placas.

REFERENCIAS

- Wadsworth, J. (2003). World wood-based panel industries. Panelboard Highlights. Metso Panelboard Customer Magazine 1, 2003.
- Orus Asso F. (1985). Materiales de Construcción, 7° edición, parte V, cap. 27 y 30. Editorial Dossat, Madrid.
- Orus Asso F. (1990). Materiales de Construcción, 8° edición, parte VI, cap. 35. Editorial Dossat, Madrid.
- González Arias A. (1982). Laboratorio de Ensayos Industriales, 1° 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