

USO DE LODOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA PAPELERA EN LA ELABORACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

ADRIANA MARÍA QUINCHÍA*

MARCO VALENCIA**

JORGE MARIO GIRALDO***

RESUMEN

Este trabajo consistió en la elaboración de paneles prefabricados como elementos no estructurales para la construcción, a partir del aprovechamiento de los lodos residuales del tratamiento de las aguas servidas de la industria papelera. Se definieron las mezclas adecuadas, los materiales y las etapas del proceso de elaboración de los paneles para desarrollar piezas que cumplen con los estándares de resistencia requeridos y la normativa asociada a este tipo de productos. De esta forma no solo se ofrecen nuevas opciones de materiales en el medio, sino que se brinda un enorme beneficio ambiental con la valorización de un residuo industrial generado en grandes cantidades.

PALABRAS CLAVE: lodo papelerero; panel prefabricado; valorización de residuos industriales.

* Ingeniera Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; Especialista en Ingeniería énfasis Ambiental, Magíster en Ingeniería con énfasis en Ambiental y aspirante a Doctorado en Ingeniería Área Nuevos Materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana. Docente e investigadora del Grupo de investigación. Gestión Ambiental para el Bienestar Social –GABIS– de la EIA. pfnadqui@eia.edu.co

** Ingeniero Metalúrgico Universidad de Antioquia; Magíster en Ingeniería énfasis Materiales de la UPB; Aspirante a Doctorado en Ingeniería Área Nuevos Materiales UPB. Docente e investigador del Grupo de investigación de Productividad y Calidad GPC de la EIA. pfnaval@eia.edu.co

*** Ingeniero Ambiental de la EIA: Joven investigador Colciencias. jmgiraldo@eia.edu.co

ABSTRACT

This work was based on the fabrication of drywalls as nonstructural elements for the construction industry, from the beneficial of the residual sludge from the treatment of waters served as the paper industry. The optimal mixtures, the suitable materials, and the stages of the process of fabrication of the panels to develop pieces were defined that fulfill the standards of resistance required and the technical norms associated to this kind of products. In this form not only new options of materials in the region are offered, but also offers an enormous environmental benefit from the assessment of an industrial waste assessment generated in great quantities.

KEY WORDS: paper sludge; dry wall; industrial waste assessment .

1. INTRODUCCIÓN

La industria papelera utiliza en la fabricación de sus productos materias primas, que son fibras de madera y papel reciclado, cargas, gomas, pegantes y colorantes entre otros, en concentraciones elevadas que durante el proceso o al final de él deben ser lavadas produciendo las “aguas blancas”, tal como se establece en el manual de tratamiento de aguas negras, del Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1998). Estas aguas deben tratarse antes de ser vertidas a un cauce o antes de ser reincorporadas al proceso, debido a que generan como residuo un lodo compuesto básicamente por materiales celulósicos, arcillas, materiales húmicos, productos químicos de la coagulación y microorganismos. La cantidad de humedad presente en el lodo al final del proceso de tratamiento alcanza a ser del 45 % después de su deshidratación con un sistema de filtro prensa. (Wang, 1992; Sundstrom *et al.*, 1979 y Velásquez, 2003).

Desde el siglo XX la disposición de estos residuos se ha convertido en un problema ambiental y social, ya que las características físico-químicas y mecánicas del lodo le imprimen un comportamiento variable al estar expuesto a condiciones ambientales, dado su proceso normal de descomposición; esta situación genera riegos de inestabilidad cuando se le dispone sobre zonas de ladera y aun en llenos no específicos para un solo material, por lo que es necesario disponerlo en monorrellenos controlados y, en ocasiones, consolidados. Uno de los principales efectos de esta

disposición en suelos es la afectación de las propiedades de los suelos y la contaminación de corrientes de aguas cercanas a causa de la lixiviación; sumado a lo expuesto, las grandes cantidades producidas diariamente hacen que sea considerado un residuo especial por lo que se requieren alternativas de uso y valorización diferentes a la disposición final en suelos (Hoyos, *et al.*, 2000; Garrett, 1995 y Tay, 2000).

Lo anterior es un problema no solo en Colombia, sino en todo el mundo y se han generado opciones de uso de este residuo, las cuales apuntan a compostaje, mezclas con arcillas para elaboración de ladrillos, bloques de concreto, absorbentes de aceites, base para alimento de animales, entre otras. Estas alternativas deben considerar no solo la utilización de los lodos como materia prima, sino que también deben competir con el bajo costo de disposición en llenos para ser atractivos para la industria y satisfacer la oferta de las grandes cantidades de lodos producidos por la industria papelera, que para el caso de Medellín ascienden a más de 100 toneladas diarias (Quinchía *et al.*, 2005).

En el análisis prospectivo realizado por la EIA (Quinchía *et al.*, 2005), para determinar los posibles usos de los lodos papeleros, se concluyó que una de las aplicaciones viables en escala local es usarlos en la fabricación de elementos no estructurales como paneles prefabricados, los cuales podían armarse a partir de mezclas del residuo con yeso o cemento, manteniendo como material base los lodos papeleros. Esta opción se basó en la incorporación del sistema de construcción modular con paneles prefabricados en el



país, encontrando allí una oportunidad para competir con este mercado de construcción, que depende de las importaciones que se hagan de otros países como Estados Unidos, Venezuela y Francia.

El sistema de construcción liviana en seco es en la actualidad uno de los métodos constructivos más usados para la elaboración de cielos rasos, divisiones y acabados de paredes. Este sistema consta de paneles de yeso que se anclan a un sistema de soportes metálicos. Los paneles son previamente fabricados y después utilizados en la obra, en donde se ensamblan con la estructura metálica para dar forma a diferentes instalaciones. Existen varios tipos de paneles prefabricados, siendo los más sencillos los que usan yeso y fibrocemento; algunos elementos fabricados con aglomerados de madera y con hormigón se usan de gran tamaño para la construcción de edificios (Colombit, 2006).

Las principales ventajas que ofrece el sistema de construcción en seco (drywall) son su rapidez de ejecución, gran versatilidad, menor peso sobre estructuras existentes, limpieza y un menor costo que los sistemas tradicionales, ofreciendo además mejores niveles de confort y facilidad cuando se realicen reparaciones o modificaciones, tanto en tabiques como en techos falsos (Gyplac, 2006).

Basados en lo anterior se pretendió verificar la factibilidad técnica y desarrollar la metodología para la elaboración de paneles prefabricados a partir de los lodos provenientes de la industria papelera, teniendo en cuenta el cumplimiento de los estándares requeridos para ser aplicados en la construcción, según las normas ASTM y estándares Icontec (Henao y Ochoa, 2006).

2. METODOLOGÍA

2.1 Elaboración de los paneles de estudio

Se tomaron como materias primas lodos deshidratados con un 45% de humedad, (proporcio-

nados por la empresa Familia S.A., Medellín), como se muestra en la figura 1, los cuales fueron homogeneizados en su tamaño por medio de licuado; como aglomerante se utilizó yeso tamizado por malla # 40 y finalmente para cubrir las caras del panel se utilizó lámina de papel cartón de 0,4 mm de espesor (Henao y Ochoa, 2006).



Figura 1. Lodos deshidratados

El tamaño seleccionado para los paneles fue el formato de menores dimensiones para este tipo de productos, tomando como referencia las placas *Superboard* de fibrocemento con 13 mm de espesor y 610 mm x 610 mm.

Para la elaboración de los paneles de estudio se fabricaron formaletas de acrílico, tal como se muestra en la figura 2. Luego de realizar manualmente las diferentes mezclas con base en peso de yeso y residuo paplero (10%, 15% y 20% de yeso), se cubrió la base de las formaletas con el papel humedecido, se repartió la mezcla uniformemente con la ayuda de un rodillo de polietileno diseñado para realizar la compactación, hasta obtener un espesor de 13 mm en toda la placa. Finalmente, se cubre la placa con el papel cartón, previamente humedecido. Ambas caras de papel se impregnan con resina acrílica con alcohol polivinílico para garantizar la adherencia del papel a la mezcla.

Los paneles tuvieron un secado preliminar en las formaletas durante un período de 48 horas, pasado este tiempo se desmoldaron y se sometieron a un proceso de secado al aire (30 días aproximadamente)

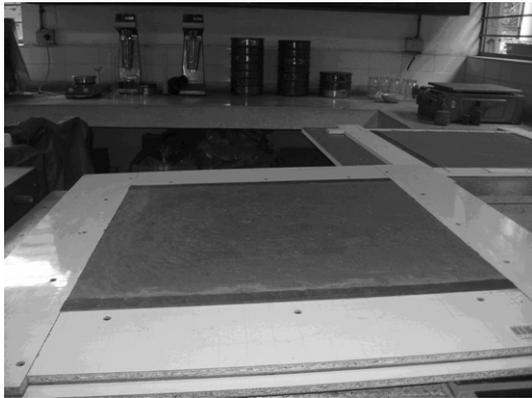


Figura 2. Formaletas de acrílico



Figura 3. Paneles recién desmoldados

entre marcos de madera. Esta estructura permite ajustar los extremos y restringir la deformación en los bordes y en la parte central durante el secado (figuras 3 y 4).

2.2 Normas y ensayos realizados

Con el fin de verificar si los paneles cumplen o no con los requisitos comerciales de producción, se tomaron en cuenta las normas ASTM que aplican para la producción de paneles de yeso. Los procedimientos para los ensayos se ejecutaron siguiendo las condiciones de la norma (ASTM C36, C473, E90, E119). En la tabla 1 se presentan las pruebas realizadas:



Figura 4. Placa seca al aire

Tabla 1. Pruebas realizadas sobre los paneles

Prueba	Nomenclatura	Límites de referencia
Resistencia a la flexión	ASTM C 473	El promedio de 3 muestras falladas con las fibras paralelas a los apoyos debe ser mayor que 178 N. El promedio de 3 muestras falladas con las fibras perpendiculares a los apoyos debe ser mayor que 489 N.
Dureza de la base, extremos y bordes	ASTM C473	88,633 N (comparación con norma 67 N)
Resistencia a la extracción del clavo		Debe ser mayor que 356 N
Deflexión húmeda	ASTM C 473	32 mm para paneles de yeso de 1/2".
Cumplimiento de tolerancias y estabilidad dimensional	ASTM C 36	Desviación máxima de 3,2 mm Espesor 0,8 mm



3. RESULTADOS

3.1 Resistencia a la flexión (Henao y Ochoa, 2006)

De cada una de las tres mezclas elaboradas (10%, 15% y 20%) se tomaron tres paneles y de cada uno de éstos se obtuvieron dos especímenes de prueba, obteniendo en total 18 muestras de 305 mm x 406 mm (según norma ASTM C473). Se considera que el espécimen no cumple cuando se presenta una falla transversal en el papel o en el alma del panel a través de su espesor. Las muestras se rotularon con

un primer número que hace referencia a la placa de la cual fueron cortadas y el segundo indica si la orientación de las fibras del papel de recubrimiento son perpendiculares (1) o paralelas (2) respecto a los apoyos sobre los que se colocaron las muestras para ser falladas.

Las muestras con fibra perpendicular a los apoyos fueron falladas en una máquina universal con una precisión de ± 20 N; en tanto que las muestras con las fibras del papel paralelas a los apoyos fueron falladas en una celda de carga, cuya precisión es de $\pm 0,001$ N. La tabla 2 contiene los resultados obtenidos para cada una de las muestras del ensayo.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la prueba de resistencia a la flexión sobre los paneles de estudio

Muestra	%Yeso	Posición fibras del papel	Deformación antes de la falla (mm)	Resistencia a la flexión (N)	Resistencia obtenida		Supera la norma
					Valor	Cumple	
9-1	10%	Perpendiculares	49,17	360	446,667	NO	NO
10-1		Perpendiculares	37,50	480			
14-1		Perpendiculares	50,00	500			
9-2		Paralelas	50,42	190,350	239,200	Sí	
10-2		Paralelas	36,67	232,033			
14-2		Paralelas	31,25	295,217			
2-1	15%	Perpendiculares	17,50	460	480,000	NO	NO
11-1		Perpendiculares	42,50	460			
12-1		Perpendiculares	37,50	520			
2-2		Paralelas	31,67	281,283	294,766	Sí	
11-2		Paralelas	19,17	286,633			
12-2		Paralelas	20,42	316,383			
15-1	20%	Perpendiculares	29,17	500	540,000	Sí	Sí
16-1		Perpendiculares	33,33	600			
20-1		Perpendiculares	20,83	540			
21-1		Perpendiculares	20,83	520			
15-2		Paralelas	27,08	358,933	291,650	Sí	
16-2		Paralelas	20,00	347,667			
20-2		Paralelas	20,00	220			
21-2		Paralelas	19,58	240			

Datos reportados por el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT

Las figuras 5 y 6 muestran cómo se incrementa la resistencia a flexión de los paneles al aumentar su contenido de yeso.

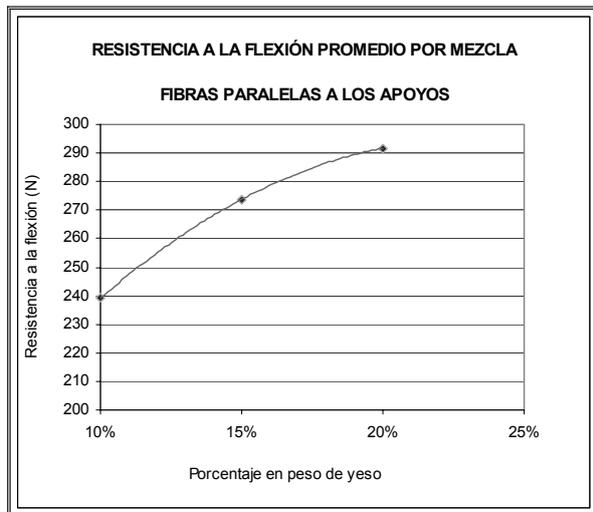


Figura 5. Variación de la resistencia a flexión de las muestras; especímenes fallados con fibras paralelas a los apoyos

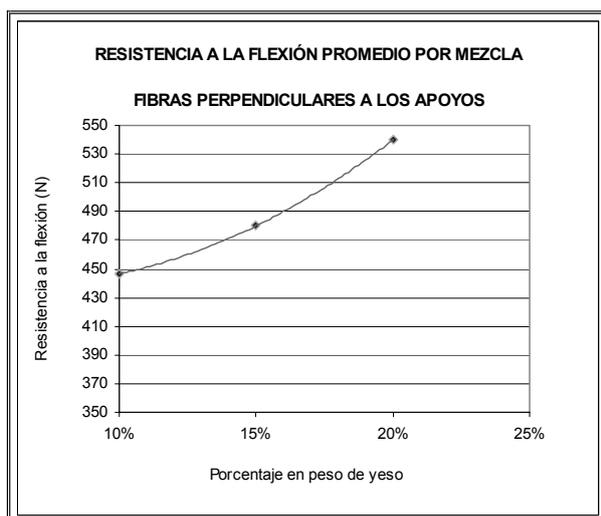


Figura 6. Variación de la resistencia a flexión de las muestras; especímenes fallados con fibras perpendiculares a los apoyos.

3.2 Ensayo de dureza de la base, los extremos y los bordes

Para realizar este ensayo (figura 7), solo se tomaron los paneles con el 20% de yeso, ya que fueron las únicas que lograron superar la prueba de resistencia a la flexión.



Figura 7. Especímen de placa comercial de *drywall*

Las muestras se cortaron con tamaños de 300 mm x 76 mm, durante las pruebas de dureza de la base, extremos y bordes; la carga se aplicó a una velocidad uniforme de 5 N/s. Para contar con un valor de referencia además de la especificación de la norma, se sometió al ensayo un espécimen cortado del interior de una placa comercial de yeso. La resistencia obtenida para este espécimen fue 88,633 N.

Las tablas 3, 4 y 5 contienen los resultados obtenidos para cada una de las muestras de las tres pruebas de dureza realizadas: dureza de la base, dureza de los extremos y dureza de los bordes.

- **Ensayo de densidad**

Para verificar la densidad obtenida con la mezcla de 20% de yeso y 80% de lodo, se realizó la misma prueba para las placas de estudio, de yeso y de fibrocemento, lo que dio como resultado una considerable reducción en la densidad de las placas de estudio. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en la prueba.



Tabla 3. Resultados obtenidos de la prueba de dureza de la base (A)

Espécimen	Espesor (mm)	Peso (g)	Dureza base o alma (N)	Promedio dureza de la base o alma (N)	Comparación con la especificación de la norma: 67 N
6 A	14,0	171,5	139,383	134,454	CUMPLE
7 A	13	138,2	144,000		
15 A	11,5	146,9	130,400		
19 A	11,0	151,3	124,033		

Datos reportados por el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT

Tabla 4. Resultados obtenidos de la prueba de dureza de los bordes (B)

Espécimen	Espesor (mm)	Peso (g)	Dureza de los bordes (N)	Promedio dureza de los bordes (N)	Comparación con la especificación de la norma: 67 N
6 B1	14,0	158,3	132,667	165,736	CUMPLE
6 B2	14,0	172,0	141,367		
7 B1	13,0	151,3	226,533		
7 B2	13,0	151,7	142,850		
19 B1	12,0	170,5	152,450		
19 B2	12,0	157,8	198,550		

Datos reportados por el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT

Tabla 5. Resultados obtenidos de la prueba de dureza de la los extremos (E)

Espécimen	Espesor (mm)	Peso (g)	Dureza extremos (N)	Promedio dureza de los extremos (N)	Comparación con la especificación de la norma: 67 N
6 E1	13,0	155,5	186,600	165,931	CUMPLE
6 E2	14,0	159,5	171,933		
7 E1	13,0	140,3	156,650		
7 E2	13,0	155,3	120,000		
15 E1	12,0	159,1	184,633		
15 E2	12,0	134,5	166,550		
16 E1	11,0	157,6	191,017		
16 E2	11,0	139,2	150,067		

Datos reportados por el laboratorio de materiales de la U. EAFIT

Tabla 6. Densidad de paneles de estudio y paneles comerciales

Placas	Dimensiones placas (mm)	Espesor placas (mm)	Peso por unidad (kg/un)	Densidad placa (kg/m ³)
Fibro cemento	2440 x 1220	14,00	59,75	1433,71
Yeso	2440 x 1220	12,70	28,50	753,86
Placas de estudio	610 x 610	11,95	2,255	507,13

3.3 Ensayo de resistencia a la extracción del clavo

La muestra se compuso de cinco muestras de 152 mm x 152 mm, tomadas de diferentes placas conformadas con el 20% de yeso. Para realizar la prueba, se situó sobre los apoyos de la máquina universal una placa metálica que sostuvo la muestra, tal como se aprecia en la figura 8. Para la prueba se aplica la carga con un índice de incremento constante de 5 N/s hasta que la cabeza del clavo atraviesa el espesor del espécimen.

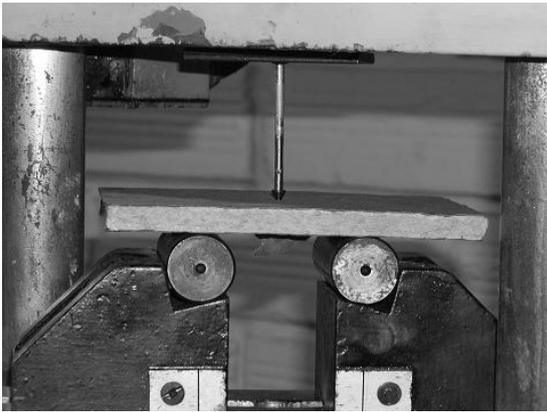


Figura 8. Ensayo de extracción de clavo al momento de aplicar la carga

Para tener un parámetro de comparación, se sometió al ensayo a una muestra tomada de una placa comercial de yeso, obteniéndose un promedio de resistencia a la extracción del clavo de 392,876 N, en comparación con un promedio de resistencia de 404,4844 N en los paneles elaborados con lodo de papel; ambas superiores a la mínima exigida por la norma.

3.4 Tolerancias dimensionales y estabilidad dimensional

Además de la verificación de las dimensiones, se hizo un seguimiento de las variaciones en las dimensiones de los lados de la placa a lo largo del tiempo, dada la importancia de la medición de una posible contracción.

- **Escuadra de bordes y tramos**

Para verificar la escuadra de bordes y tramos se les midió a los paneles la distancia “b” en cuatro puntos de cada uno de sus bordes (distancia de un punto fijo “a” a los bordes del panel), de modo que para cada espécimen se contaba con 16 lecturas que debían promediarse. Finalmente, se halló el promedio de las distancias obtenidas para todas las placas y se comparó con el valor admisible de acuerdo con la ASTM C 36.

Se pudo observar que ninguna de las lecturas tomadas supera la desviación máxima que especifica la norma, que es de 3,2 mm, cumpliendo con la condición de escuadra de los bordes y extremos que establece la norma.

- **Ensayo para verificar el espesor nominal**

La muestra para el ensayo contó con dimensiones de 300 mm x 250 mm y espesor de 13 mm; en la tabla 7 se presentan las lecturas tomadas en cada uno de los lados de las muestras de prueba y además las variaciones locales de dichas lecturas para cada espécimen.



Tabla 7. Lecturas de los espesores de cada muestra

Espécimen	Lectura espesor (mm)				Máxima variación local entre las lecturas (mm)
	Lado 1	Lado 2	Lado 3	Lado 4	
19	12,27	12,71	12,70	11,65	2,30
	12,00	11,24	13,21	10,91	
	12,22	11,85	13,00	11,87	
	11,72	12,00	12,84	11,96	
20	12,65	12,33	11,48	11,95	1,62
	12,05	12,50	11,03	11,68	
	12,33	12,28	11,73	12,35	
	12,12	12,01	12,07	12,64	
21	11,19	11,99	10,96	11,94	1,03
	11,46	11,83	11,70	11,4	
	11,90	11,41	11,55	11,96	
	11,79	11,40	11,73	11,99	

Según las especificaciones ASTM C 36, las variaciones locales en el espesor de un espécimen no pueden ser superiores a 0,8 mm, por lo que la placa que más se aproxima a la norma fue el espécimen 21.

En la tabla 8 se muestran los espesores nominales de cada una de las muestras de prueba, así como también el espesor nominal de la muestra para la cual se elaboró el ensayo.

De acuerdo con la especificación de la norma, la variación admisible en el espesor nominal es de $\pm 0,4$ mm, por lo que la variación obtenida en la muestra se sale del rango permitido.

- **Ensayo para verificar las tolerancias en la longitud de los lados de los paneles**

La muestra del ensayo estaba compuesta de tres placas secadas al aire. Las mediciones se realizaron sobre placas completas (de 610 mm x 610 mm). Para medir el lado 1 (paralelo a los bordes cubiertos) de la placa se trazó una recta paralela a uno de los bordes recubiertos del panel y a una distancia de 150 mm de éste y se midió sobre esa recta la distancia desde un borde no recubierto hasta el otro borde no recubierto. Se repitió luego este mismo proceso pero para una recta trazada a 150 mm del otro borde

Tabla 8. Espesor nominal placas de prueba y muestra

Espécimen	Espesor nominal espécimen (mm)	Espesor nominal muestra (mm)	Variación con respecto al espesor nominal esperado (mm)
19	12,13	11,95	-1,05
20	12,08		
21	11,64		

recubierto del panel. La mayor de estas dos lecturas es entonces la magnitud del lado 1 del panel.

La medición de lado 2 se hizo de la misma manera que la del lado 1, pero las rectas se trazaron paralelas a los bordes no recubiertos del panel y a una distancia de 150 mm más allá de estos bordes.

En los paneles de yeso la longitud es equivalente al lado 1 de los paneles elaboradas en este estudio; y el ancho sería entonces equivalente al lado que se ha denominado lado 2.

Para esta prueba se conoce el valor de la tolerancia para el lado 2 de los paneles de estudio, pues su dimensión se encuentra dentro de los valores nominales que establece la norma. Los valores se muestran en la tabla 9.

- **Seguimiento para medir la contracción en los lados de los paneles durante el proceso de secado**

Dado que al medir las placas se encontró que sus dimensiones disminuían durante el secado, debido a la contracción en su volumen asociada pérdida de agua por evaporación, se dejó una muestra para medir sus lados cada 72 horas y así determinar la magnitud y el tiempo aproximados de dicha contracción.

Para realizar el seguimiento se tomaron cuatro placas con dimensiones iniciales de 610 mm x 610 mm y 13 mm de espesor. Las mediciones se hicieron siguiendo el mismo procedimiento que en los

ensayos de tolerancia en los lados de los paneles. Se marcaron con números las rectas trazadas paralelas a cada uno de los bordes de la formaleta y se tomaron las medidas siempre en el mismo punto para tener criterios válidos de comparación.

Las lecturas concluyeron 30 días después de haber sido vaciadas las muestras, momento en el cual se calculó su secado completo y la contracción total en ambos lados de los paneles. El promedio de contracción para el lado 1 fue de 17 mm y para el lado 2 de 5 mm, lo que significa que para garantizar una dimensión final de panel de 610 mm x 610 mm debe hacerse un molde con dimensiones de 627 mm x 615 mm aproximadamente.

4. CONCLUSIONES

- La construcción de paneles a partir de lodos de industrias manufactureras de papel constituye un valioso aporte, no solo por el desarrollo de un material que puede ofrecer ventajas competitivas en el mercado de la construcción como material no estructural, sino por el reciclaje de un residuo industrial de alta generación.
- Las mezclas realizadas con el 20% en peso de yeso y el 80% de lodo de papel, mostraron un adecuado comportamiento según las especificaciones establecidas por la ASTM para resistencia, dureza en los bordes y alma, por lo que se espera que puedan ser usadas en construcción como elementos no estructurales sin sufrir fácilmente desbordamientos o daños en los extremos.

Tabla 9. Tolerancia especificada en la norma y tolerancia equivalente calculada para los lados de los paneles de estudio

Lado	Magnitud nominal (mm)	% tolerancia calculado con tolerancias y valores nominales de la norma	Tolerancia admisible (mm)
Lado1	610	0,5246	3,2
Lado2	610		2,4



- Los paneles estudiados presentan un 24% menos en peso que los paneles comerciales de yeso y un 64,7% menos que las de fibrocemento. Esta diferencia se constituye en una ventaja al momento de transportar y armar las estructuras, además de representar una menor carga de los paneles sobre la estructura.
- Para garantizar homogeneidad en la distribución del material y mejorar los resultados sería recomendable la estandarización industrial del formado, así como el secado en hornos a baja temperatura que aceleren el tiempo final de conformación y secado de los paneles.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for gypsum wallboard. West Conshohoken: ASTM, 1999. (ASTM C 36).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for physical testing of gypsum board products and gypsum lath. Philadelphia: ASTM, 1993. (ASTM C 473).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for water vapor transmission of materials. Philadelphia: ASTM, 1994. (ASTM E 96).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for fire test of building construction and materials. Philadelphia: ASTM, 1988. (ASTM E 119).
- COLOMBIT. Cámbiese a la construcción liviana en seco. Revista Construcción Liviana en Seco: La solución constructiva. Medellín, 2006.
- DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. Manual de tratamiento de aguas negras. México: Limusa Noriega, 1998. 303 p.
- GARRETT, Randy and GARRETT, Dolan. Beneficial use of paper mill sludge. *En: BioCycle*. Vol. 36 (septiembre, 1995); p. 69-71.
- GYPLAC. Placas de yeso-cartón [online]. Santiago de Chile. [Consultado enero 2006]. Disponible en la Internet: < <http://www.gyplac.com/> >
- HENAO R. Alejandra y OCHOA Susana. 2006. Análisis de la viabilidad técnica del aprovechamiento de residuos de industrias papeleras en la elaboración de paneles prefabricados. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 197 p.
- HOYOS HURTADO, María Teresa; LÓPEZ S., Yanine; MEJÍA I., Claudia A.; ROJAS G., Juliet; VARGAS I., Sandra. 2000. Aprovechamiento de los lodos primarios de las fábricas de papel. Medellín: UPB. p. 7.
- QUINCHÍA, F. Adriana; RESTREPO, Camilo y BETANCOURT, Gonzalo. 2005. Análisis prospectivo de aprovechamiento y disposición de lodos provenientes de industrias papeleras. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. 180 p.
- RENISON, Geofredo C. Clasificación de los elementos de las construcciones en seco [online]. Buenos Aires, Argentina. [Consultado enero, 2006]. Disponible en la Internet: < <http://www.construir.com/Econsult/c/consulta/renison/document/en seco.htm> >
- SUNDSTROM, Donald W. and KLEI, Herbert E. Wastewater treatment. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979. p. 387.
- TAY, Joo-Hwa. Innovative Civil Engineering material from sewage sludge: Biocement and its use as blended cement material. *En: Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 6, No. 1 (febrero, 1994); pp. 23-33.
- TAY, Joo-Hwa. Reuse of industrial sludge as pelletized aggregate for concrete. *En: Journal of Environmental Engineering*. Vol. 126, No. 3 (marzo, 2000); pp. 279-287.
- TAY, Joo-Hwa. Use of sewage sludge ash as brick material. *En: Journal of Environmental Engineering*. Vol. 127, No. 10 (octubre, 2001); pp. 922-927.
- UNITED STATES GYPSUM COMPANY. USG Manual de construcción con yeso, edición en español [online]. México D. F. [Consultado enero, 2006]. Disponible en la Internet: < <http://www.usg.com.mx/es/asesoriaInformacionDetalle.asp?cdContenido=114> >
- VELÁSQUEZ, Juan Esteban y POSADA, Juan Camilo. Factibilidad de disposición de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales "San Fernando" –PTAR– en suelos recuperables de diferente textura. Envigado, 2003. Trabajo de Grado (Ingenieros Ambientales). Escuela de Ingeniería de Antioquia. Ingeniería Ambiental.
- WANG, M. C.; HULL, J. Q.; JAO, M.; DEMPSEY, B.A.; CORNWELL, D. A. Engineering behavior of water treatment sludge. *En: Journal of Environmental Engineering*. Vol. 118, No. 6 (nov.-dic. 1992); p. 849.