

# Construcción de Tabiques a partir de Residuos de Desmote del Algodón

**Resumen:** La cosecha mecánica del algodón mejora la rentabilidad del cultivo pero produce mayor cantidad de residuo de desmote, dejando en las últimas campañas aproximadamente 300000 toneladas sin destino previsto.

Según el Censo 2010, es importante el déficit habitacional en la zona productora de algodón y, en Santa Fe, los departamentos algoneros presentan 40 a 60 % de hogares constituidos por casas precarias, casillas y ranchos.

Para la construcción de tabiques en la mayoría de localidades, se emplea mampostería de ladrillos huecos o comunes que requiere tareas de cierta complejidad y empleo de mezclas frescas tanto para su revestimiento como para su construcción. Las técnicas más modernas de construcción en seco, no están totalmente difundidas en localidades pequeñas y de menores recursos.

Los residuos de desmote del algodón permiten fabricar placas, que junto a estructuras metálicas o de madera, pueden conformar tabiques que se adaptan a diferentes necesidades.

**Palabras Claves:** Residuo de desmote; tabiques; estabilidad; aislamiento higrotérmico.

**Abstract:** Mechanical harvesting of cotton improves the profitability of the crop but produces a greater amount of cotton gin waste, leaving in the last campaigns approximately 300000 tons without any final disposal destination.

According to the 2010 Census, the housing deficit in the cotton producing area is significant, and in the province of Santa Fe, the cotton producer departments account up to 40-60 % of households consisting of precarious houses, huts and hovels.

For the construction of panels in the majority of places, ceramic masonry (both common or hollow) is used requiring tasks of a certain complexity and the use of fresh mixes both for its lining and for its construction. The most modern techniques of dry construction, are not widespread in small places and in those with little economic resources.

Boards can be produced from cotton gin waste, that fixed to metal or wooden structures, can conform panels responding to different needs.

**Keywords:** cotton gin waste; panels; stability; hygrothermal insulation.

**Diego Aguirre, Andrés Malgor, Luna Sosa**

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda –CECOVI– Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavalse 610, (S3004EWB), Santa Fe, TEL/FAX: 342 4697728.

Mail: diego\_danag@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

La producción algodonera es una importante actividad productiva en Santa Fe, Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Corrientes, con una fuerte concentración geográfica (Fig. 1). Actualmente la actividad se encuentra en crecimiento en nuestro país, hecho que se manifiesta en las cifras records de volúmenes de producción que se han alcanzado en campañas de los últimos años (más de 1.000.000 t de algodón en bruto (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, 2014), que equivalen al 4 % de la producción mundial (Comité Consultivo Internacional del Algodón, 2013)), pero como contracara, dejando atrás aproximadamente 300.000 t (1.195.000 m<sup>3</sup>) de residuos denominados “cascarilla” (30 % de la cosecha) constituidos por fibrilla, cárpelos, materias extrañas, etc., sin destino previsto. Esto se debe, en general, al incremento de aplicación de la cosecha mecánica, que mejora la rentabilidad del cultivo, pero produce una mayor cantidad de residuo de desmote por tonelada de algodón en bruto cosechada.

En muchos casos se opta por calcinar esta cascarilla, y dado que muchas desmotadoras se encuentran en el radio urbano, originan serios problemas de polución, malestares y posibilidad de afecciones respiratorias (Fig. 2) (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable, 2005) (Diario El Liberal, 2009).

En lo que respecta a vivienda, según el Censo de 2010 (Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda, 2010), existe un déficit habitacional importante en las provincias productoras. En los departamentos de la zona productora de la provincia de Santa Fe entre el 40 y 60 % de los hogares están construidos por casas precarias, casillas, ranchos, que muchas veces no cuentan con divisiones interiores o que tienen envolventes que no aseguran una adecuada aislación térmica, lo cual redundaría en la falta de confort y consumo excesivo de energía, además de las patologías de condensación superficial e intersticial.

En viviendas de menores recursos, podría resultar interesante contar con la posibilidad de generar tabiques divisorios de rápida construcción y tecnologías sencillas. Por otra parte, muchas tecnologías de construcción en seco poseen un elevado costo y sus componentes no están disponibles fácilmente en localidades pequeñas y aún menos en aquellas alejadas de los grandes centros urbanos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que dado que la región de producción de algodón se encuentra comprendida en la zona de alto y mediano riesgo de afectación por Mal de Chagas (Mapa educativo, 2016), y la posibilidad de incluir cerramientos con terminaciones adecuadas y materiales que han probado ser menos atractivos para las vinchucas que otros materiales convencionales, puede resultar un aporte importante.

Así, el desarrollo de elementos constructivos no tradicionales mediante la utilización de residuos de desmote del algodón, permitiría intentar atender al mismo tiempo la problemática ambiental de este sector agroindustrial, y la necesidad de responder con nuevas tecnologías de reducido costo y rápida ejecución al déficit habitacional existente en la región. Por otra parte, la producción de aglomerados implementando tecnologías sencillas generaría puestos de trabajo con reducida demanda de calificación, ampliando la demanda laboral del sector desmotador, que sólo realiza actividades intensivas durante unos 100 días al año, y contribuiría a mejorar el comportamiento higro-térmico de las viviendas en esta región del país.

## METODOLOGÍA

### Materiales y mezclas

Los materiales utilizados fueron residuos del proceso de desmote del algodón (cascarilla) y cemento portland normal (IRAM 50000), con categoría resistente CP40.

Adicionalmente, se empleó para el moldeo de los aglomerados, cloruro de calcio de calidad industrial como aditivo acelerante de los procesos de hidratación ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).



Fig. 1: Zona de producción algodonera en Argentina.



Fig. 2: Acopio de cascarilla de algodón incendiado.

Para evaluar las propiedades de estos aglomerados y determinar la dosificación óptima, se adoptó para el análisis un diseño de experimentos central compuesto centrado (Montgomery and Runger, 1996) (Fig. 3), en el

cual las variables principales son la presión de moldeo y la razón cemento/agua.

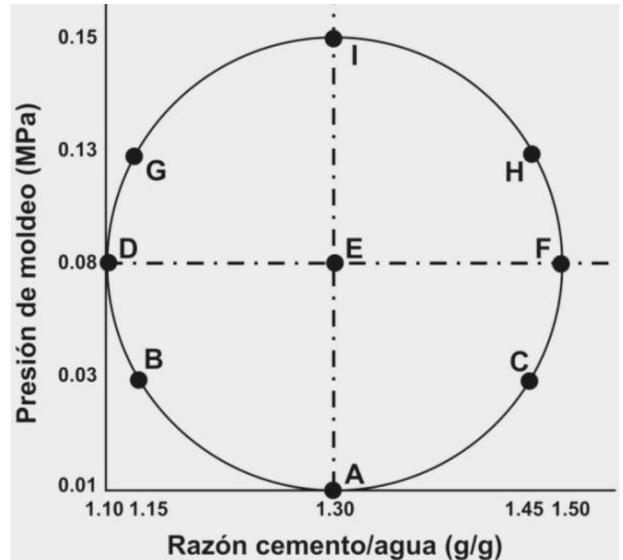


Fig. 3: Diseño de experimento para el análisis de propiedades.

### Ensayos y determinaciones

Para los aglomerados obtenidos, las propiedades evaluadas fueron densidad en estabilización de masa (IRAM 9705), resistencia a compresión (IRAM 9541), la resistencia a flexión (IRAM 9706), y conductividad térmica a partir del método establecido en la norma IRAM 1860. A partir de estos resultados, se realizaron cálculos de transmitancia térmica de acuerdo a la norma IRAM 11601 para diferentes estructuras de tabiques, a fin de comparar la capacidad de aislamiento térmico. Los resultados obtenidos se compararon con respecto a los valores límite de transmitancia térmica establecidos para cada zona bioambiental en la norma IRAM 11603.

Para efectuar los cálculos de transmitancia térmica se establecieron diferentes paquetes cons-

tructivos de tabiques, tal como se indica en la Tabla 1, a fin de evaluar la posibilidad de su empleo como tabiques de cerramiento exterior o interior.

Sobre los paneles, se realizaron ensayos de choque blando de acuerdo a la metodología de la norma IRAM 11596 para evaluar la estabilidad del sistema propuesto. El ensayo consiste en someter cada probeta a la acción de una carga de impacto, dejándola caer desde alturas sucesivas (Fig. 4). Luego de cada impacto, se debe determinar la flecha instantánea y la residual. Asimismo se deben registrar los efectos producidos en las probetas por cada impacto.

Para la construcción de los paneles sometidos a ensayo se emplearon placas de 61 cm de lado y 2,5 cm de espesor, que son aplicables a tabiques o cielorrasos desmontables.

Las probetas (tabiques) ensayados presentaban 1,20 m de ancho y 2,40 m de altura (Fig. 5 y 6). La estructura se ejecutó en madera colocando soleras y montantes de 2" x 3" de sección. Los montantes se colocaron separando sus ejes entre sí 30 cm y las soleras se colocaron en los extremos superior e infe-

rior y en la mitad de la altura sin interrupción de los montantes. Sobre ellos se fijaron 16 placas cubriendo ambas caras del tabique mediante tornillos tipo T2. Posteriormente, se procedió a aplicar azotado impermeable, revoque grueso y revoque fino.

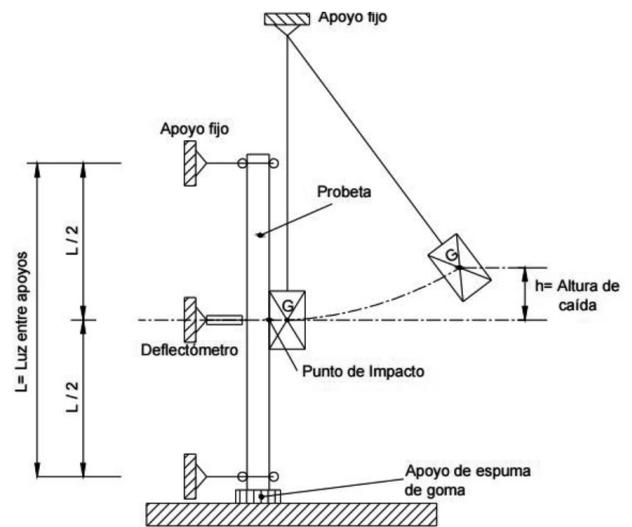


Fig. 4: Esquema del ensayo.

Estructura de Madera + placa de cascarilla			
Elemento	Espesor (m)		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
Revoque fino exterior	0,003	0,003	0,003
Revoque grueso exterior	0,015	0,015	0,015
Aislación hidrófuga	0,006	0,006	0,006
Placas de cascarilla	0,025	0,025	0,025
Cámara de aire estanca	0,075	0,075	0,075
Aislante	-	0,05	0,02
Placas de cascarilla	0,025	0,025	0,05
Revoque fino interior	0,003	0,003	0,003

Tabla 1: Paquetes Constructivos.

La madera utilizada para la construcción de la estructura de los tabiques fue de la especie Pino Elliotti, cuyas principales propiedades (INTI, 2016) se mencionan en la Tabla 2.

Considerando su densidad es una madera resistente al esfuerzo de flexión, medianamente resistente a los esfuerzos de compresión paralela y corte, poco resistente a la compresión perpendicular. Se clasifica como blanda a semi dura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al diseño de experimentos propuesto, se moldearon placas de cascarilla de algodón aglomerada con cemento, utilizando razones cemento/agua variables entre 1,1 y 1,5 y presiones de moldeo variables entre 0,01 y 0,15 MPa (Fig. 3).

En lo que respecta a la resistencia mecánica de los paneles, en la figura 7 se muestran las superficies de isorrespuesta correspondientes a la determinación de resistencia a flexión simple.

De la gráfica se observa que la resistencia a flexión aumenta a medida que se incrementan la presión de moldeo y la relación c/a, alcanzando para las dosificaciones empleadas una tensión máxima de rotura de 0,4 MPa.

A partir de este valor se determinó la tensión admisible del material, adoptando un coeficiente de seguridad, y con ésta se calcularon los espesores mínimos en función de sus dimensiones, arrojando valores de entre 1 y 3 cm para placas de 60 a 120 cm de lado respectivamente. En ensayos de conductividad térmica, realizados en el Centro Construcciones del Instituto de Tecnología Industrial (INTI), se obtuvo un coeficiente cercano a 0,11 W/m<sup>2</sup>K, lo cual se considera un valor bajo de conductividad y establece buenas posibilidades de aislamiento.

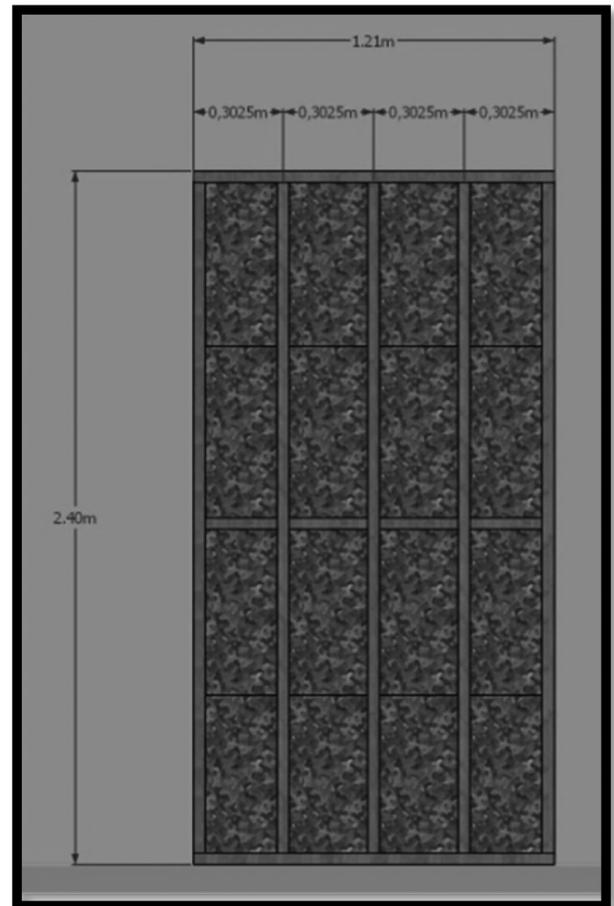


Fig. 5: Esquema del muro.

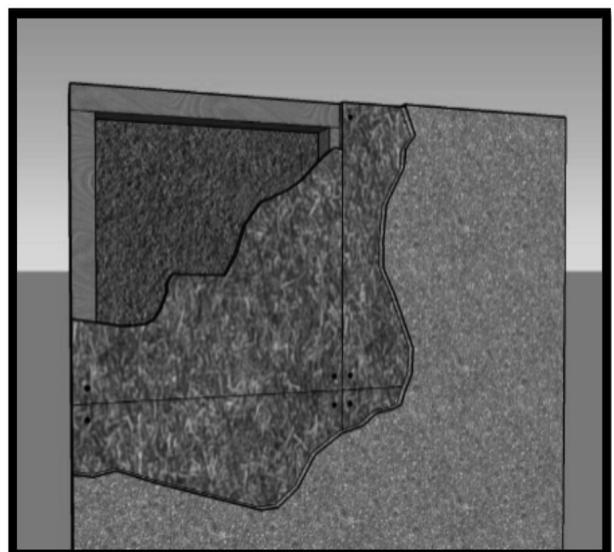


Fig. 6: Esquema del muro.

Propiedades mecánicas	Unidad	
Módulo de rotura a tracción axial	N/mm <sup>2</sup>	-
Módulo de elasticidad a tracción axial	N/mm <sup>2</sup>	-
Tensión de rotura a flexión estática axial	N/mm <sup>2</sup>	83,5
Módulo de elasticidad a flexión estática	N/mm <sup>2</sup>	8,81
Módulo de rotura a compresión axial	N/mm <sup>2</sup>	53
Módulo de elasticidad a compresión axial	N/mm <sup>2</sup>	8,497
Tensión límite a compresión perpendicular	N/mm <sup>2</sup>	3,3
Módulo de rotura a corte paralelo	N/mm <sup>2</sup>	9,3
Módulo de rotura a tracción perpendicular	N/mm <sup>2</sup>	3,2
Módulo de rotura clavaje	N/mm <sup>2</sup>	0,41
Flexión dinámica K		
Dureza Janka perpendicular a las fibras	N/mm <sup>2</sup>	31,4
Dureza Brinell		
Carga de extracción perpendicular de clavos	kg	31
Propiedades físicas		
Densidad aparente al 15 % de humedad	g/cm <sup>3</sup>	0,54

Tabla 2: Propiedades de madera Pino Elliotti (INTI, 2016).

Por otro lado, la densidad final en estabilización de los aglomerados obtenidos es relativamente baja (entre 350 y 750 kg/m<sup>3</sup>), resultando similares a los correspondientes a los aglomerados de partículas de madera tradicionales, esto indica que a la hora de proyectar un paquete estructural, el peso propio del mismo no sería un factor condicionante.

Para evaluar las prestaciones de estos elementos se realizaron comparaciones entre los distintos paquetes propuestos que no cuentan con aislación térmica adicional a la brindada por las placas de cascarilla y con otras que incorporan aislantes tradicionales según los datos recopilados en la región aldononera. Para ello se efectuaron los cálculos según la norma IRAM 11601, los cuales están establecidos por los entes de control como indispensables para verificar las condiciones necesarias que tiene que cumplir una vivienda para alcanzar el acondicionamiento higrotérmico apropiado. Para este análisis, la norma IRAM 11605 fija tres condiciones de confort “A – Recomendado”, “B – Medio” y “C – Mínimo”, para las cuales corresponden transmitancias térmicas máximas admisibles para cada zona bioambiental (Tabla 3).

De acuerdo a la norma IRAM 11603 la región aldononera se encuentra alcanzada principalmente por las zonas bioambientales “Ia” y “Ib”, definidas como muy cálidas, con temperaturas máximas superiores a 34 °C en la época caliente y valores medios superiores a 26 °C. Por otro lado, el período invernal es poco significativo, con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12 °C.

Para considerar que un tabique cumple con los requisitos de transmitancia térmica, de modo de asegurar un adecuado nivel de aislación y evitar la posibilidad de condensación superficial e intersticial, es necesario que se cumpla simultáneamente con el valor de transmitancia en el cuerpo del tabique y con la relación admisible entre este valor y la transmitancia correspondiente al puente térmico. Al observar estos resultados (Tablas 4 y 5) se evidencia que utilizando tabiques sin colocación de aislantes adicionales no es posible asegurar una adecuada aislación en invierno, aún para los niveles de menor exigencia.

Al incorporar aislantes, se aprecia que empleando lana de vidrio, se mejora sustancialmente el comportamiento del cuerpo del tabique, pero resulta demasiado elevada la relación entre K y K<sub>pt</sub>, por lo cual podría resultar esperable que en tiempos fríos se produzca condensación en coincidencia con los nervios del tabique. En el caso de los tabiques que incorporan una plancha de poliestireno como aislante, se puede observar que es posible cumplir con los requisitos del nivel menos exigente, tanto para el cuerpo del tabique como para el puente térmico.

En la Tabla 6, se resumen los resultados obtenidos en los ensayos de choque blando sobre los tabiques constituidos por estructura de madera y placas de cascarilla de acuerdo al método establecido por la norma IRAM 11596. En la Tabla 7 se indican los crite-

rios de aceptación establecidos en la norma IRAM 11585 Paneles para muros y tabiques de edificios.

El contrastar los resultados de la Tabla 6 con los límites de la IRAM 11585, se puede concluir que se cumplen los requisitos de deformaciones permanentes e instantáneas. En lo que respecta a la resistencia mecánica, en ningún caso los tabiques fueron traspasados por la bolsa, pero se produjeron algunas fisuras que podrían comprometer la estanqueidad del elemento. Al analizar los deterioros sufridos por los tabiques durante los ensayos, se puede apreciar que las fisuras son de reducido espesor y que se encuentran en el revestimiento cementicio, que resulta más rígido que el conjunto de la estructura de madera y las placas de aglomerado.

En virtud de ello, se considera adecuada la aplicación de estos tabiques a la función de divisorios interiores y, paralelamente, estudiar otro tipo de recubrimiento de mayor flexibilidad que sea capaz de acompañar las deformaciones del conjunto.



Fig. 7: Placas de cascarilla.

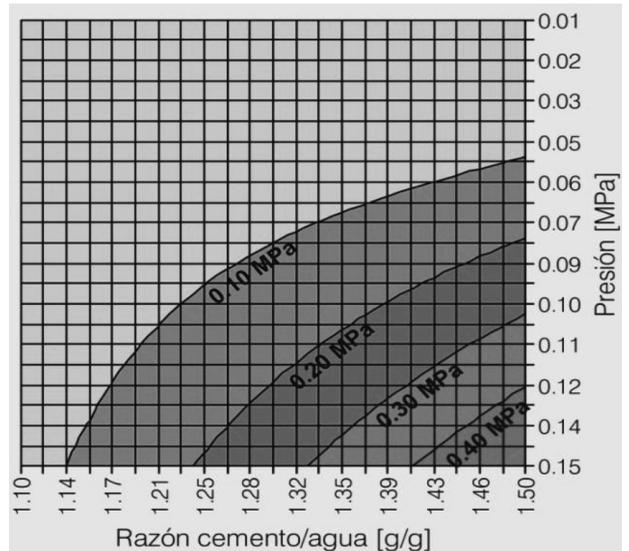


Fig. 8: Resistencia a flexión simple.

Condición	NIVEL DE CONFORT		
	A	B	C
Verano	0,45	1,10	1,80
Invierno	0,38	1,00	1,85

Tabla 3: Transmitancias térmicas máximas admisibles para zona bioambiental I ( $W/m^2 K$ ).

TIPO	K CALCULADO	TRANSMITANCIAS TÉRMICAS (K)			
		NIVEL DE CONFORT B		NIVEL DE CONFORT C	
		CONDICION DE VERANO	CONDICION DE INVIERNO	CONDICION DE VERANO	CONDICION DE INVIERNO
		VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA
A	1,222	NO	NO	SI	NO
B	0,462	SI	SI	SI	SI
C	0,551	SI	SI	SI	SI

Tabla 4: Transmitancia térmica calculada para cada paquete estructural propuesto (K).

TIPO	K CALCULADO	VERIFICACIÓN DEL PUENTE TÉRMICO (Kpt)		
		Kpt CALCULADO	Kpt/K	VERIFICA
A	1,222	1,091	0,893	SI
B	0,462	1,091	2,361	NO
C	0,551	0,729	1,323	SI

Tabla 5: Verificación del puente térmico (Kpt).

Impacto		Flecha instantánea		Flecha permanente		
Altura de caída (cm)	Energía (J)	Medida (cm)	Porcentaje de altura de la probeta (%)	Medida (cm)	Porcentaje de altura de la probeta (%)	Porcentaje de la flecha máxima instantánea (%)
30,00	90,00	0,90	0,38	0,32	0,13	5,63
45,00	135,00	1,50	0,63	0,41	0,188	7,98
60,00	180,00	1,65	0,69	0,74	0,31	13,17
120,00	360,00	2,35	0,98	0,69	0,29	12,15
155,00	465,00	1,80	0,75	0,87	0,36	15,43

Tabla 6: Resultado de ensayo de choque blando.

	Límites	
	Paneles exteriores	Paneles interiores
Deformaciones permanentes (flecha residual)	Para 135 J: < 0.2 % de la altura del muro ensayado ≤ 25 % de flecha máxima instantánea ≤ 0.5 cm	
Deformaciones instantáneas	Para 135 J: < 0.8 % de la altura del muro ensayado ≤ 2 cm	
Resistencia mecánica	Para 180 J: No debe sufrir ningún deterioro visible	
	Para 360 J: No debe ser atravesado por la bolsa o ser deteriorado de manera tal que comprometa la seguridad de los ocupantes del edificio	Para 180 J: No debe ser atravesado por la bolsa o ser deteriorado de manera tal que comprometa la seguridad de los ocupantes del edificio
Evaluación de juntas	Para 90 J: No debe sufrir ningún deterioro visible	
	Para 180 J: No se alterará su estabilidad ni estanqueidad	

Tabla 7: Criterios de aceptación de resultados de choque blando para paneles portantes y no portantes s/IRAM 11585.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, hasta el presente estado de avance de la investigación, se puede concluir que:

Es posible conformar elementos constructivos a partir de la aglomeración del residuo del desmote de algodón con el cemento portland, con propiedades físicas y tecnológicas adecuadas, empleando una tecnología sencilla y su aplicación a la construcción de tabiques.

De acuerdo al comportamiento higrotérmico y a los resultados de los análisis de choque blando,

resulta conveniente aplicar estos tabiques como divisorios interiores.

Resulta necesario estudiar la factibilidad de aplicación de otros revestimientos de mayor flexibilidad que eviten la aparición de fisuras ante las deformaciones provocadas en los ensayos de choque blando.

## AGRADECIMIENTOS

La colaboración de la desmotadora ACRIBA S.A. (Villa Minetti-Santa Fe) y el financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la UTN, posibilitaron este trabajo.



Fig. 9: Aplicación de cargas.



Fig. 10: Medición de deformaciones permanentes.

## REFERENCIAS

Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable. "Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa" (2005).

Web: <http://www.chem.unep.ch/POPs/pdf/cpf/Informe%20Biomasa.pdf>

Diario El Liberal. "Sin humo en la planta algodónera." 25-06-2009.

Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Año 2010", (2010). Web:

[http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos\\_totalpais.asp](http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos_totalpais.asp)

"Mal de Chagas, riesgo de transmisión vectorial", (2016).

Web: <http://www.mapaeducativo.edu.ar/mapserver/aen/socioterritorial/chagas/index.php>

Montgomery, D. C.; Runger, G. C., "Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería", Mc Graw Hill, USA, 787 (1996).

Centro de investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera y Afines, INTI, "Pino Elliotis", (2016).

Web: [http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/caracterizacion\\_maderas/PINO\\_ELLIOTTI.pdf](http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/caracterizacion_maderas/PINO_ELLIOTTI.pdf)