

UNA OPCIÓN PARA LAS TEJAS: DISEÑO CLÁSICO Y MATERIAL SUSTENTABLE

Positieri, María. Gaggino, Rosana. Oshiro, Angel. Baronetto, Carlos. Irico, Patricia
CINTEMAC, UTN, FRC. CEVE-CONICET. Laboratorio Estructuras, FCEFyN. UNC
E-mail: mpositieri@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta los avances realizados en los ensayos de tejas realizadas con residuos de plásticos y de caucho en el marco del Proyecto de Investigación Orientado en Red "Desarrollo tecnológico de tejas con materiales reciclados para viviendas". Este Proyecto se desarrolla en Córdoba, Argentina y está integrado por el CEVE, Centro Experimental de Vivienda Económica, CONICET y el CINTEMAC, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad de la Universidad Tecnológica Nacional, con el apoyo del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba. Su objetivo específico es el desarrollo de componentes constructivos sustentables desde los puntos de vista ecológico, técnico y económico. Los resultados esperados son tejas elaboradas con materiales reciclados tales como plásticos procedentes de la industria y caucho procedente de neumáticos en desuso, colaborando en la descontaminación del medio ambiente, ya que se utilizan residuos que en gran parte son enterrados en predios municipales, sin utilidad alguna o acumulados y quemados en basurales, produciendo degradación del entorno. Las conclusiones permiten estimar que se puede lograr, a partir de la utilización de plásticos y caucho, un material compatible con los requerimientos establecidos y comparar su desempeño con otras tejas con características y requisitos similares pero elaborados con materiales de comportamiento y origen muy distinto.

ABSTRACT

This paper presents the progress in the tests of tiles made with waste plastics and rubber under the Research Project Oriented Network "Technological Development of tiles with recycled materials for housing." This project is located in the city of Cordoba, Argentina and is composed CEVE, Centro Experimental de Vivienda Económica, CONICET and CINTEMAC, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad de la Universidad Tecnológica Nacional, with support from Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba. The project aims to contribute to the pollution of the environment, and in resolving the housing shortage in our country. Its specific objective is to develop sustainable building components from the viewpoints ecological, technical and economic. The expected results are tiles made from recycled materials such as plastics from industry and rubber from tires into disuse. In this way contributes to the pollution of the environment, since they are used largely wastes are buried in municipal land without any use, or accumulated and burned in landfills, causing environmental degradation. The findings estimate that can be achieved from the use of plastics and rubber, a material compatible with the requirements and compare their performance with other tiles with similar characteristics and requirements but made with materials of very different origin and behavior.

1. INTRODUCCIÓN

Este Proyecto se desarrolla en la Ciudad de Córdoba, Argentina y está integrado por el CEVE, Centro Experimental de Vivienda Económica, CONICET y el CINTEMAC, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad de la Universidad Tecnológica Nacional, con el apoyo del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.

Los resultados esperados son tejas elaboradas con materiales reciclados tales como plásticos procedentes de la industria y caucho procedente de neumáticos en desuso.

Las cantidades disponibles de los residuos plásticos son muy abundantes. Según datos proporcionados en 2012 por el Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, la Argentina produce 12.325.000 toneladas de basura por año, de las cuales los residuos plásticos constituyen el 13,3 % del total del peso (1.639 ton/año)¹

Los plásticos son materiales de escasa o nula bio-degradabilidad, por lo que la naturaleza no puede absorberlos como a otros residuos. Las botellas de polietileno-tereftalato (PET) tardan más de 500 años en descomponerse, y duran más si están enterradas. Las bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) se transforman recién a los 150 años en contacto con los agentes naturales²

En cuanto a los residuos de caucho procedentes de neumáticos fuera de uso (NFU), según datos del INTI del año 2012 se generan más de 100.000 toneladas anuales.

Los NFU, que se acumulan en basurales, producen contaminación visual, poseen una alta capacidad inflamable y no son degradables. Son el refugio ideal de insectos, roedores y reptiles, por lo cual su acumulación favorece el contagio del dengue y otras enfermedades transmitidas por mosquitos. Está demostrado que cuando se queman emiten sustancias cancerígenas. Sólo una fracción de los NFU es reciclada para producir energía calórica, en hornos especiales como los utilizados en la industria del cemento, que poseen los filtros adecuados para no producir contaminación atmosférica.

En este trabajo se presentan los avances en los ensayos realizados sobre tejas con material reciclado, se discute la aplicación de las normas vigentes para tejas cerámicas y de hormigón y se analizan los resultados obtenidos. La contribución se enfoca en aportar una alternativa a las tecnologías de construcción tradicionales, que consumen recursos no renovables o que producen impacto ambiental negativo intentando además producir un producto con menores probabilidades de sufrir las patologías que presentan las tejas elaboradas con materiales tradicionales.

2. ANTECEDENTES Y NORMAS TÉCNICAS

Las tejas han sido utilizadas para la cubierta de techos desde tiempos inmemorables. Las tejas son elementos con los que se forman cubiertas en los edificios para recibir y canalizar el agua de lluvia, la nieve, o el granizo. Son productos en los que varía el material con el que está constituido y cuyas

características dependen también de su forma y tamaño. Existen tejas de madera, de metal, plástico, cerámica; más recientemente con el avance de la tecnología, hay tejas de hormigón y actualmente se emplea la incorporación de residuos.

Los antecedentes en investigación para fabricación de cubiertas datan de muy pocos años; por ejemplo las experiencias realizadas en la pizarra elaborada con mezcla de plásticos (PVC; CPVC; PVDC; ABS; ASA y EVA) patentada en Europa por Zhang³ en el 2001, las chapas para techos con fibras de nylon que simulan tejas en Estados Unidos desarrolladas por Bacon y Forrest⁴ en el 2005 y en Europa por Boor⁵ en el 2009; también se encuentran antecedentes en las tejas desarrolladas en Brasil con embalajes de larga vida por Fiorelli, Morceli, Vaz y Dias⁶ en el 2009 y más específicamente las determinaciones de propiedades termomecánicas en materiales reciclados llevadas adelante en el 2010 por Navarro⁷.

En Argentina existen normas para ensayos de tejas en material cerámico y hormigón que proponen distintas metodologías para evaluar las mismas propiedades, por ejemplo absorción de agua y heladicidad; con estos antecedentes cuando debe decidirse como evaluar estas propiedades en un material con características distintas, debe analizarse la situación con profundidad.

Las normas técnicas de ensayo no pueden abarcar todas las combinaciones de materiales reciclados ni acompañar con la suficiente rapidez los cambios que se producen en la tecnología, por lo que cuando se deben ensayar estos nuevos productos, se produce un vacío y hay que adaptar los métodos de ensayos ya reconocidos a la caracterización del nuevo material o realizar recomendaciones sobre los requisitos a solicitar; una experiencia interesante es la presentada por Schabowicz⁸, en cuanto a la evaluación de tejas de hormigón aplicando el método de ultrasonido para la detección de fisuras.

2.1 Síntomas patológicos

Uno de los síntomas patológicos que presentan con mayor frecuencia las tejas tradicionales son los defectos superficiales y las fisuras.

Este aspecto está considerado en el caso de tejas cerámicas; las normas argentinas, CERAMICOS. Norma IRAM 12528-1 Tejas Cerámicas de encastre. Definiciones y requisitos y la Norma IRAM 12528-2 Tejas Cerámicas de encastre. Métodos de ensayo, clasifican los defectos que pueden presentarse en:

- Estructurales (Fisura estructural. Rotura. Pérdida de los tacos de anclaje) y
- Superficiales (Ampollado. Astillado. Cráteres. Defecto de rebanado. Fisura superficial. Microfisuración por cuarteo del esmalte o engobe. Rebabas)

En la Figura 1 se presenta el aspecto superficial de un tejado realizado con tejas cerámicas; hay daños del recubrimiento superficial y descascaramiento con pérdida de material, defectos que si bien pueden no comprometer el desempeño de las tejas producen un alto impacto visual.



Figura 1: Síntomas patológicos en tejas cerámicas

Las normas argentinas de tejas de hormigón, Norma IRAM 11632-1 Tejas y accesorios de hormigón. Requisitos y Norma IRAM 11632-2 Tejas y accesorios de hormigón. Métodos de ensayo, no hacen referencia a la presencia de defectos ni fisuras. En la Figura 2 se presenta la imagen parcial de un techado en el que las tejas de hormigón presentan fisuraciones y pérdida de material.

En las tejas de hormigón, es probable que las fisuras sean producidas por la contracción plástica, que se potencia en “piezas” que tienen un pequeño espesor frente al largo y ancho. Es decir la magnitud superficie es sustancialmente mayor que el espesor.

El mortero utilizado en la fabricación de tejas es de consistencia seca; bajo tal circunstancia es difícil precisar si el contenido de agua es la adecuada, o si es menor o mayor al necesario por lo que, dentro de ciertos límites, se pueden dar las tres situaciones. Si el contenido de agua fuera mayor que el óptimo, se favorecería la exudación y consecuentemente la mezcla sería más susceptible de sufrir contracción plástica y en consecuencia, fisurarse.



Figura 2: Síntomas patológicos en tejas de hormigón.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

En la Tabla 1 se presentan la identificación, material y terminación superficial de las tejas ensayadas.

Tabla1: Denominación de tejas

Identificación	Material		Terminación superficial
1	Material reciclado	Form. 8	Polietileno de baja densidad y caucho
2		Form. 9	Polietileno de baja densidad, polietilen-tereftalato y caucho
3	Hormigón		Pigmento negro integral con resina de base acuosa
4			Pigmento negro integral con acrílico
5			Pigmento terracota integral con resina de base acuosa
6			slurry pigmento terracota con acrílico
7			slurry Pigmento terracota EEUU con resina de base acuosa
8	Cerámicas		Coloniales sin esmaltar
9			Francesas esmaltadas
10			Francesas sin esmaltar

3.1 Tejas con material reciclado

Para la fabricación de las tejas se ligaron partículas plásticas y de caucho mediante un procedimiento de termo-moldeo con compactación, utilizando una prensa hidráulica y un molde con sistema de resistencias, que permite el calentamiento de la mezcla por arriba y por abajo. Con este procedimiento se obtuvieron tejas de manera artesanal.

Se fabricaron las tejas modificando las siguientes variables: dosificación de materiales, granulometrías, materiales constitutivos, procedimientos de elaboración, temperatura aplicada, presión mecánica y diseño morfológico de componentes.

Se estudiaron hasta el momento dos formulaciones: la formulación 8, compuesta por polietileno de baja densidad, polietilen-tereftalato y caucho y la formulación 9, compuesta por polietileno de baja densidad y caucho.

3.2 Tejas cerámicas

Se obtienen por conformación (extrusión o prensado), secado y cocción de una pasta arcillosa que contenga o no aditivos.

Las tejas cerámicas seleccionadas para ensayar corresponden a aquellas disponibles en el comercio y que más se parecen a las características geométricas de las tejas con material reciclado. Se ensayaron muestras con distinto tipo de terminación superficial: esmaltadas y sin esmaltar.

3.3 Tejas de hormigón

Durante los últimos cuarenta años el desarrollo de los métodos de producción y las mejoras en los procesos han contribuido a que las tejas de hormigón proporcionen una alternativa interesante para la cubierta de techos.

No hay duda que la posibilidad de colorearlas ha sido un importante factor de decisión. La coloración de las tejas puede ser integral, o sea pigmentando toda la masa de hormigón o aplicando una pintura superficial que le da la terminación definitiva.

Las tejas de hormigón son de fácil colocación, resistentes, impermeables y transitables sin riesgos de rotura y se proveen en una amplia gama de colores. Las tejas de hormigón seleccionadas para ensayar son de tres tipos y están disponibles comercialmente: con pigmento, con terminación superficial de pintura acrílica y con slurry.

3.4 Métodos

El plan experimental contempla fabricar las tejas con material reciclado y estudiar propiedades vinculadas a la durabilidad comparándolas con los resultados en tejas cerámicas y de hormigón que se consiguen actualmente en el mercado.

Las determinaciones se realizaron adoptando la norma IRAM que contemplara el requisito necesario o la que fuera más exigente:

- Medidas, características geométricas y masa
- Absorción
- Heladicidad
- Permeabilidad al agua
- Permeabilidad al aire
- Flexión

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medidas, características geométricas y masa

Se midieron y pesaron todas las muestras a ensayar; los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Medidas, características geométricas y masa

Identificación	Material	Ancho [mm]	Largo [mm]	Masa [kg]
1	Material reciclado	230,45	408,80	1,29
2		230,90	408,54	1,41
3	Hormigón	331,1	421,0	4,72
4		331,6	420,6	4,82
5		331,5	420,7	4,93
6		331,3	420,7	4,71
7		331,6	421,5	4,82
8	Cerámicas	169,4	438,9	1,71
9		252,8	421,8	3,26
10		252,0	421,2	3,09

En la Figura 3 se presentan los resultados de masa destacando que las tejas con material reciclado tienen cuatro veces menor peso que las tejas de hormigón y prácticamente la mitad de las cerámicas con similar geometría y dimensiones (tejas francesas).

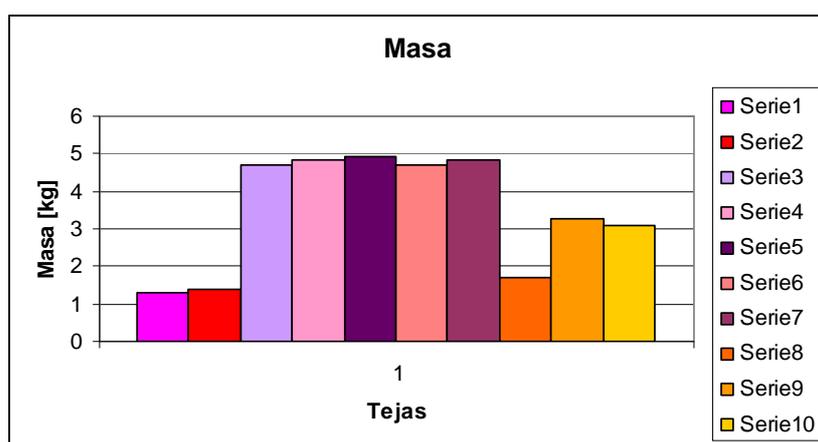


Figura 3: Masa de tejas ensayadas

4.2 Absorción de agua

La absorción de agua se realizó según Norma IRAM 12528 para tejas cerámicas. Los resultados indican que todas las muestras cumplen con la Norma, la cual

establece que las tejas inmersas en agua durante 24 hs. no deberán absorber un porcentaje mayor al 15 % de sus respectivas masas en estado seco.

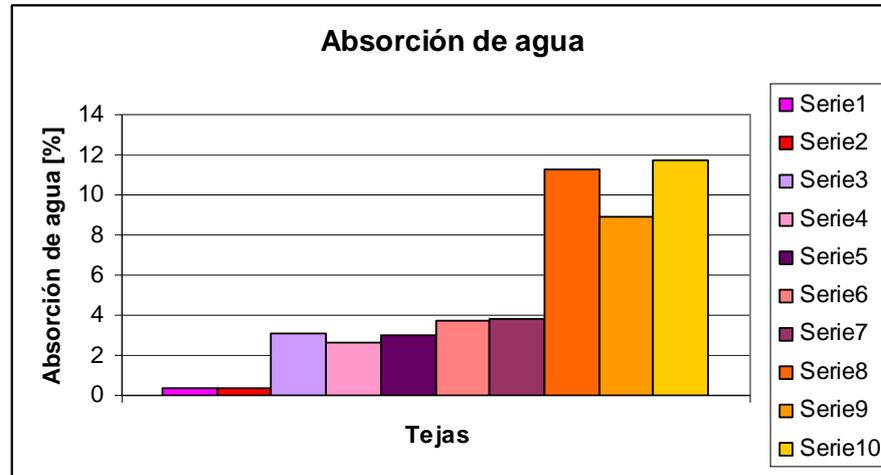


Figura 4: Absorción de agua

Las tejas con material reciclado presentan una absorción de agua muy baja, del orden de 0,3%, comparadas con las tejas de hormigón, aproximadamente 3 a 4% y con las cerámicas que superan el 8%

4.3 Heladicidad

Este ensayo se realizó según Norma IRAM 11632-2 para tejas de hormigón debido a que el método empleado es más exigente que el establecido en la Norma IRAM para material cerámico. Se utilizó una cámara frigorífica que permite reducir la temperatura del aire de la cámara hasta $-20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en $2 \text{ hs} \pm 30 \text{ min}$. Para la preparación de las muestras las tejas deben colocarse en un tanque de inmersión con agua durante tres días como mínimo y a continuación deben someterse a 25 ciclos de congelación-deshielo consistente en una fase de enfriamiento, una fase de congelación y una fase de descongelación.

Posteriormente a la realización del ensayo no se observaron deterioros ni descascaramientos superficiales en ninguna muestra. Luego de transcurridos 7 días de la finalización del ensayo de heladicidad deben realizarse los ensayos de permeabilidad al agua y flexión transversal.

4.4 Permeabilidad al agua

Las normas para tejas cerámicas y para tejas de hormigón contemplan la determinación de la permeabilidad al agua por métodos diferentes. Se optó por la determinación según la norma de tejas de hormigón, Norma IRAM 11632-1, por considerarse más exigente.

Las tejas se deben acondicionar en ambiente de laboratorio; se debe colocar sobre la teja un marco estanco sellado de manera que se pueda mantener una altura

de agua de 10 a 15mm durante 20 hs. La muestra debe colocarse sobre un sistema que detecte la caída de gotas de agua en la parte inferior de la teja, que es lo que debe informarse.

Los ensayos se realizaron sobre las tejas luego de transcurridos 7 días de la finalización del ensayo de heladicidad.

En la Figura 5 se presenta el dispositivo para el ensayo en tejas de hormigón y en la Figura 6 para tejas con material reciclado; en ambos casos tiene un marco metálico o de acrílico que permite mantener la superficie expuesta de la teja con una película de agua de varios centímetros de espesor.



Figura 5: Tejas de hormigón durante el ensayo de permeabilidad



Figura 6: Tejas de material reciclado durante el ensayo de permeabilidad

Todas las tejas ensayadas cumplen con el requisito de la Norma la cual establece que no deben desprenderse gotas de agua en la parte inferior de las tejas durante las 24 hs. de duración del ensayo.

4.5 Permeabilidad al aire

La determinación de la permeabilidad al aire fue realizada según la Norma Suiza SIA 262/2003. El equipo utilizado, denominado Permeatorr, se presenta en la Figura 7. Debido a las características geométricas de la superficie de las tejas, con superficies planas regulares de tamaño pequeño, pocos centímetros, se utilizó una celda de medición de tamaño reducido.

No fue posible realizar las mediciones únicamente en las tejas coloniales cerámicas debido a las características geométricas con superficie convexa que no permitió apoyar la celda del equipo.

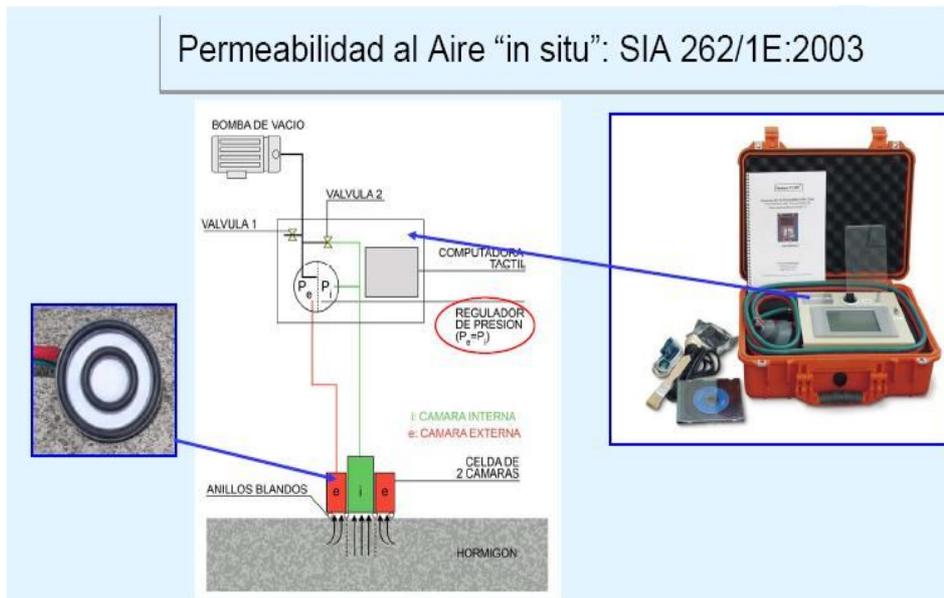


Figura 7: Equipo Permeatorr

En la Tabla 3 se presentan los coeficientes de permeabilidad al agua según la Norma Suiza SIA 262/1-E10.

Tabla 3. Clasificación de hormigón (Norma Suiza SIA 262/1-E10)

Clase	kT Permeability ($10^{-16}m^2$)	PERMEABILITY
PK5	> 10	Very High
PK4	1.0 – 10	High
PK3	0.1 – 1.0	Moderate
PK2	0.01 – 0.1	Low
PK1	< 0.01	Very Low

En la Figura 8 se presentan los resultados de permeabilidad al aire obtenidos; las tejas con material reciclado tienen un coeficiente k_T menor de 0,001 (permeabilidad muy baja); las tejas de hormigón, dependiendo de la terminación superficial, se clasifican en las clases PK4, PK3 y PK2 como de permeabilidad alta, moderada y baja; las tejas cerámicas se clasifican como de permeabilidad alta y moderada dependiendo de si la superficie está o no esmaltada.

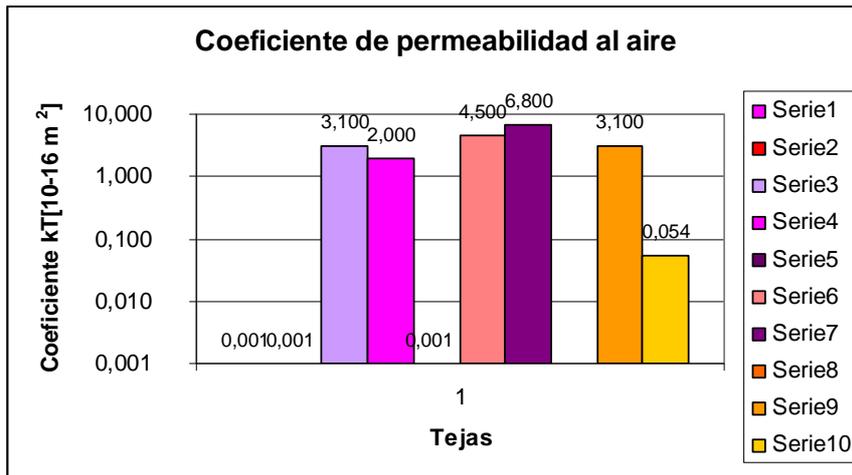


Figura 8: Coeficientes de permeabilidad al agua

4.5 Resistencia a la flexión transversal

En la Figura 9 se presentan los resultados del ensayo a flexión transversal de tejas de hormigón, las que cumplen con el requisito mínimo exigido de 2500 N.

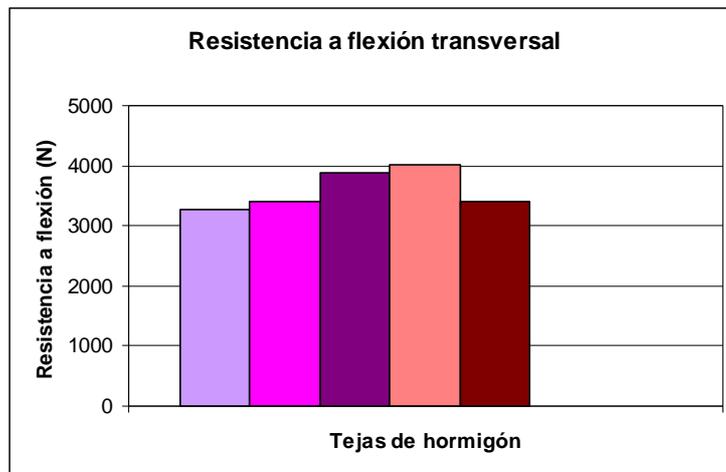


Figura 9: Resistencia a flexión transversal en tejas de hormigón

Con respecto a las tejas con material reciclado cuando son sometidas a esfuerzos de flexión tienen deformaciones muy altas, del orden de 3cm, por lo que se detuvo la aplicación de la carga cuando la deformación se consideró excesiva (son más flexibles que las tradicionales).

En las Figuras 10 (tejas con polietileno de baja densidad NFU) y 11 (tejas con polietileno de baja densidad, polietilen-tereftalato y NFU) se presentan resultados de las primeras determinaciones del ensayo de flexión.

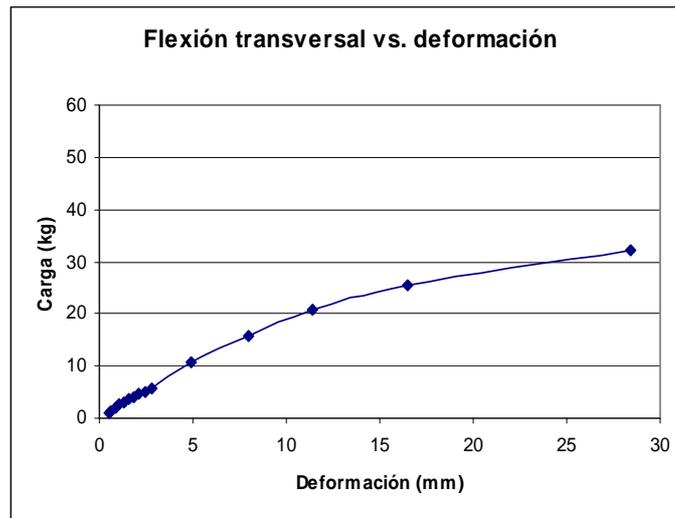


Figura 10: Tejas Formulación 8

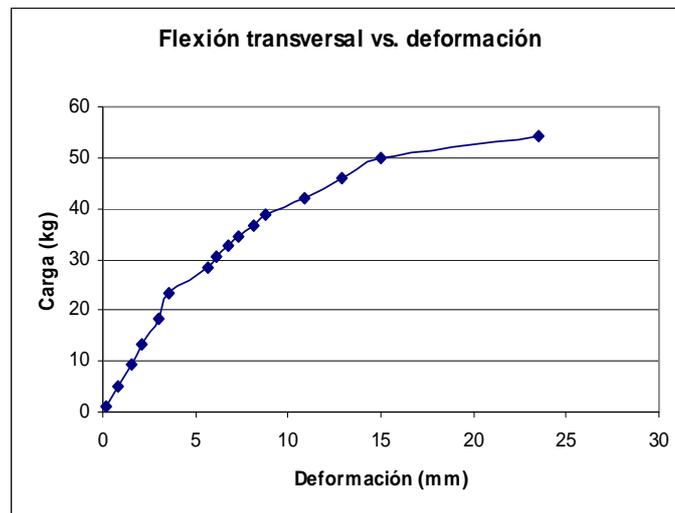


Figura 11: Tejas Formulación 9

Esta es una de las determinaciones que está actualmente en desarrollo y se completará con el análisis de los resultados de las deformaciones para las distintas cargas a las que sean sometidas las muestras en los ensayos.

5. CONCLUSIONES

En los aspectos técnicos, con los resultados obtenidos hasta el momento, una ventaja del componente constructivo desarrollado (teja elaborada con caucho y plástico reciclados) con respecto a otros tradicionales como por ejemplo la teja cerámica y de hormigón, es su menor densidad y menor permeabilidad y absorción de agua. Otra de sus ventajas principales respecto a otras tejas tradicionales, es su potencial mayor resistencia al granizo, debido a la alta flexibilidad de la teja; esto se verificará con el montaje de un prototipo.

Con respecto a su durabilidad, el ensayo de heladicidad dio un resultado muy satisfactorio, ya que no hubo deterioro de la teja posterior al ensayo, debido a la baja absorción de agua de la misma. Se debe tener en cuenta que en las tejas tradicionales, es habitual el ingreso de agua por los poros o fallas de las tejas y que esto es uno de los factores que produce deterioro superficial, luego de heladas, por las expansiones que se producen.

Se abre una discusión con respecto a la necesidad y validez de la determinación de la resistencia a flexión de las tejas con material reciclado de caucho y plásticos la aplicación de la carga debió detenerse cuando se consideró que la deformación sufrida por las tejas era excesivo.

Se plantea la necesidad de desarrollar y/o adaptar la normativa vigente para los productos tradicionales a las nuevas tecnologías y a los nuevos materiales.

Se están realizando ensayos indispensables para determinar la aptitud técnica de las tejas con material reciclado, tales como su conductividad térmica y especialmente su comportamiento frente al fuego (Métodos de ensayo para cubiertas expuestas a fuego exterior, UNE-ENV 1187).

En los aspectos ecológicos, esta tecnología colabora con la descontaminación del medio ambiente, por utilizar residuos plásticos y de caucho para su elaboración, incorporando materiales de desecho como una contribución al ambiente sustentable.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la Provincia de Córdoba por el Subsidio otorgado a este Proyecto de Investigación Orientado en Red.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Informe anual de gestión integral de residuos sólidos urbanos. Gobierno de la ciudad de Buenos Aires, Ministerio de Ambiente y Espacio Público Ley 1.854. Buenos Aires, Argentina. 2008, p.7.
2. Cuánto tiempo tarda la naturaleza en transformar.... En publicación digital del Programa México Limpio. Disponible on line: <http://www.giresol.org> [acceso, 17 de setiembre de 2004].

3. Zhang, Pizarra elaborada con mezcla de plásticos (PVC; CPVC; PVDC; ABS; ASA y EVA) patentada en Europa (2001).
4. Bacon, F. "Roofing materials made with nylon fiber composites". Patente de E.E.U.U. Número: 20050170141, 4 de Agosto de 2005.
5. Boor, B. "Composite material roofing structure". Patente europea número WO 2009152213 (A1). 17 de Diciembre de 2009.
6. Fiorelli J., Morceli J., Vaz R. y Dias A. "Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol.13 no.2 Campina Grande Marzo / Abril 2009.
7. Navarro F., Partal P., Martínez-Boza F. y Gallegos C. "Novel recycled polyethylene/ground tire rubber/bitumen blends for use in roofing applications: Thermo-mechanical properties". Polymer Testing Volume 29, Issue 5, August 2010, pp 588-595.
8. Schabowicz, Krzysztof. "Methodology of non-destructive evaluation of the cement tiles roof using ultrasonic method". Institute of Building Engineering, Wrocław University of Technology. Defektoskopie 2009, 39th International Conference and Exhibition, Prague. 04-06 Nov. 2009