Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica
Página principal: www.riiit.com.mx

Aplicación de recubrimiento de PET en tejas de papel de reciclaje: fabricación y pruebas

Application of PET coating on recycle paper roof tiles: manufacturing and testing

Muñoz-Hernández, G.A.[1], Baez-Guzmán, R.[2], Izelo-Cuautli, L.[3], Silva-Juárez, A.[4]

[1*] Instituto Tecnológico de Puebla. C.P. 72220. Puebla, Pue.
[2] Facultad de Ingeniería. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. C.P. 72570. Puebla, Pue.
[3] Universidad Tecnológica de Huejotzingo. C.P. 74169. Huejotzingo, Pue.
[4] Universidad Tecnológica de Puebla. C.P. 72300. Puebla, Pue.
gmunoz@ieee.org; ricardo.baezguz@correo.buap.mx; limhi.izelo@gmail.com; alejandro.silva@utpuebla.edu.mx

Innovación tecnológica: Fabricación de tejas mediante materiales reciclados. Posible extensión a recubrimiento de interiores y exteriores.

Área de aplicación industrial: En la construcción, sobre todo en áreas rurales, si se automatiza el proceso se podría incrementar la producción y así emplearlas en todo tipo de zonas.

Enviado: 26 julio 2020
Aceptado: 26 septiembre 2020

Abstract

This work presents the process for the manufacture of roof tiles based on recycled paper and water lily fibers, with PET coverage. The process shown is simple in such a way that it can be carried out without the use of special machines. Different types of recycled paper were evaluated; one of them includes a percentage of water lilies. Stress tests were carried out on the different types of roof tile prototypes to verify their resistance, finding that the capacity to withstand stress, although it varies for each prototype evaluated, is acceptable for use in construction.

Keywords: recyclable materials, stress test, polyethylene terephthalate

Resumen

Este trabajo presenta el proceso para la fabricación de tejas basadas en papel reciclado y de fibras de lirio acuático, con cobertura de PET. El proceso mostrado es simple de tal forma que puede ser realizado sin la utilización de máquinas especiales. Diferentes tipos de papel reciclado fueron evaluados, uno de ellos incluye un porcentaje de lirios acuáticos. Se realizaron pruebas de esfuerzo en los diferentes tipos de prototipos de teja para verificar su resistencia, encontrando que la capacidad de soportar esfuerzo, aunque varia para cada prototipo evaluado, es aceptable para su uso en la construcción.

Palabras clave: materiales reciclados, prueba de tensión, polietileno tereftalato.

1. Introducción

En la actualidad, la industria de la construcción se ha valido del uso de materiales que tradicionalmente son resistentes: por un lado, el concreto, que por sus proporciones de contenido en arena, grava y concreto, tiene muy buena resistencia a la compresión, y por el otro, la varilla de acero, que es resistente a las fuerzas de tensión; la implementación de ambos produce un material técnicamente conocido como "concreto reforzado" [1]. También en la construcción civil de casas, las constructoras se han valido de otros materiales, extraídos de fuentes vegetales, tales como: bambú, palmeras, etc. [2] [3]. Para el techado de las casas se han empleado diferentes materiales [4] [5] [6] [7], entre éstos se han empleado materiales constituidos por fibras naturales (celulosa), incluso existen algunas construcciones que emplean plantas "vivas" en los techos, conocidos como techos verdes [8].

Este proyecto busca crear un prototipo mediante el uso de materiales reciclados, en particular se decidió usar papel, que está formado por una fibra vegetal, y el Polietileno Tereftalato (PET). Ambos materiales altamente reciclables y que se encuentran de manera abundante, sobre todo en las áreas urbanas.

La combinación de la fibra vegetal (papel) con el plástico (PET) permitirá un buen aislamiento térmico, además de ser una barrera para la humedad [5] [9] [10] [11]. Este trabajo describe primero la composición de los tipos papel fabricados, después se muestra de forma general el proceso manual de construcción de las tejas, por último, se detallan las pruebas realizadas a los diferentes prototipos de tejas desarrolladas.

2. Fabricación del Papel y la teja

El papel se ha producido incluso en civilizaciones antiguas, el tipo de fibras empleadas ha ido variando dependiendo de la disponibilidad en la región, así mismo, los métodos de producción han evolucionado, incluso hoy en día se continúa experimentando con diferentes métodos que combinan las nuevas tecnologías con métodos tradicionales [12]. Según Lund [13], el papel cuenta con una clasificación para saber si al reciclar y generar papel nuevo, será "recuperable", es decir, tendrá la calidad suficiente para ser nuevamente procesado; dentro de la clasificación existen 51 calidades de papel.

Tomando en cuenta la disponibilidad de los tipos de papel en los desechos urbanos y dado la limpieza relativa del mismo se tomó al papel bond como base de la mezcla para la composición del papel reciclado. Otra fibra empleada fue el lirio acuático, esto debido a que el Lago de Valsequillo, cercano a la Ciudad de Puebla, sufre de una contaminación por parte del mismo y que debido a su contenido de plomo su uso como forraje no está permitido [14]. Por último, también se evaluó una composición al 100% de cartón doble corrugado. A continuación, se enlistan los tipos de papel empleados en este estudio:

1. 100% papel bond (75 g/m^2), según esta clasificación es de calidad tipo 42: "papel blanco […] utilizado en las procesadoras de datos e impresoras" [13] Figura 1.a.

2. 50% papel bond y 50% lirio acuático (115 g/m^2): se le clasifica como "papel rechazable", es decir, papel no apto para ser vendido como "papel", porque "puede dañar equipos" [13], Figura 1.b.

3. 100% cartón corrugado (360 g/m^2): se le clasifica como "recortes de cartón" y entra en la calidad número 4, dado que no contiene más del 1% de otros materiales en su mezcla [13], Figura 1.c.

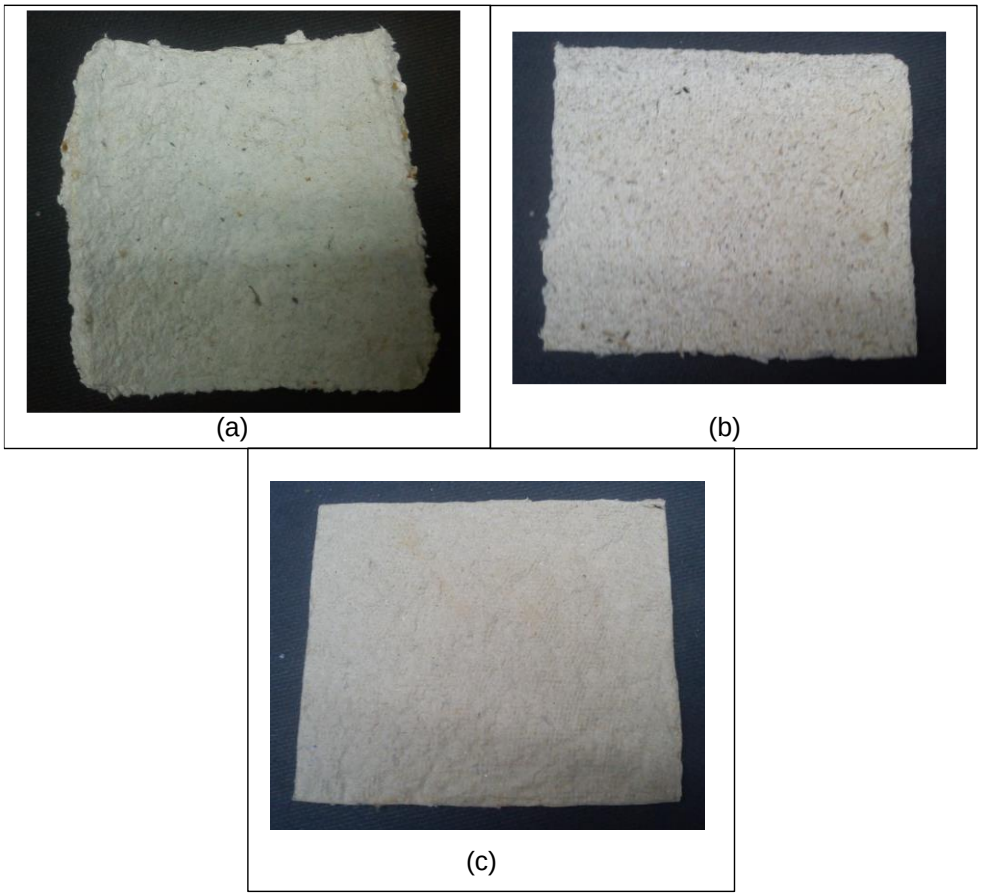


Figura 1. Muestras de los diferentes tipos de papel fabricado. (a) 100% papel bond. (b) 50% papel bond y 50% lirio acuático. (c) 100% cartón corrugado.

3. Descripción del proceso de fabricación de la Teja

Para la elaboración manual del papel, se procedió primero a realizar una mezcla de 15 g de papel picado con agua, se usaron 500 ml de agua para elaborar una primera mezcla, de forma que el papel se reblandeciera, lo cual permite la separación de las fibras que lo constituyen. Posteriormente se procedió a separar las aglutinaciones mediante el uso de una mezcladora mecánica, así finalmente se pudo obtener un litro de mezcla con una baja consistencia de fibra (30%). Una vez obtenida la fibra de papel, se procedió a verterlo en un molde previamente construido, el cual tiene forma de teja. El material del molde es lámina galvanizada, se eligió este material con el fin de evitar la oxidación y contaminación del papel con el óxido generado del contacto del agua con la superficie del metal.

A continuación, se procedió a dejar secar la fibra de papel mediante exposición solar. El proceso de evaporación fue suficiente para eliminar el excedente de humedad de la fibra de papel, de tal manera que la mezcla de fibras adquiera la forma física del molde. Ya con la Teja formada, se retiró la fibra de papel del molde, Figura 2.



Figura 2. Teja ya formada con 100% de papel bond.



Figura 3. Teja ya formada y con recubrimiento de PET.

A esta Teja de papel se le aplica PET fundido en su superficie para hacerla impermeable y pueda ser usada en la construcción de techos. Para aplicar el PET fundido, se emplearon 10 botellas de 600 ml de este material. La fundición del PET se realizó mediante un crisol de barro y un mechero. Al PET en ningún momento se le aplicó calor de forma directa, se calentó paulatinamente el crisol hasta que el PET llegó a su punto de fusión, pero sin alcanzar la ebullición. Sin embargo, no se utilizó un control de temperatura automático. Obtenido el PET fundido, se procedió a verterlo de forma rápida, para evitar su enfriamiento, sobre la superficie de la teja de papel. Es como este último procedimiento, que finalmente se obtiene la teja de papel con recubrimiento de PET, Figura 3. Como la teja fabricada tiene como fin su uso en la construcción, es necesario conocer algunos aspectos relativos a la resistencia mecánica de la teja: la fuerza de fluencia , esfuerzo y deformación [15] [16] [17].

Con el objetivo de conocer la fuerza máxima y elongación de la teja, las pruebas se hicieron en una máquina universal marca Lloyd, la cual permite visualizar de forma digital el comportamiento de la teja en cuanto a la fuerza y la deformación sufrida de ésta durante la aplicación de una fuerza de

estiramiento. Todas las pruebas se hicieron con una velocidad de carga de 2 mm/min con una carga en la célula (celda de carga) de 3,059.10 Kgf.

4. Resultados

Se fabricaron tejas con diferentes tipos de mezclas de fibras, todas ellas con coberturas de PET. Con el fin de evaluar la capacidad de resistencia al esfuerzo de las tejas construidas, éstas se sometieron a pruebas de tensión. El espesor de la capa de PET de las tejas no es uniforme, esto es debido a la forma de fabricación, sin embargo, se tiene un espesor aproximado de un 1 mm.

Las razones de no usar una medida regular en todas las pruebas, esto es que no sean homogéneas, se debe a que una teja construida de los materiales reciclados, no se prestan para ser dimensionados fácilmente debido a que el recubrimiento de PET tiende a fracturarse con solo pequeñas fisuras. Por lo tanto, fue necesario, buscar una muestra que no presentara fractura o fisuras, para que pudieran soportar la prueba de tensión.

Prueba de Tensión: teja construida con papel bond al 100% recubierta con PET

Para la realización de la prueba a la teja construida con papel bond al 100% recubierta con PET, se usó una muestra de la teja con las siguientes medidas: 49.1 mm de ancho por 47 mm de largo, 7 mm de espesor y 7 g de peso. Durante la aplicación de la prueba, la máquina de pruebas universal arrojó los resultados mostrados en la Figura 4. En esta figura, se puede observar que una teja elaborada con papel Bond al 100% recubierta con PET fundido, puede soportar una fuerza de tensión de 4.168 Kgf antes de que la teja se fracture, debido a la fuerza de tensión; también de la figura se puede observar que el recubrimiento de PET de la teja sólo es capaz de soportar una deformación de menos de 1 mm antes del rompimiento y fractura de PET.

Sobre la teja 100% papel bond, en esta primera prueba no se aprecia de forma clara el comportamiento elástico del papel bond, pero como se verá más adelante, en otras gráficas, la teja sufre dos fuerzas de tensión: una primera debido al recubrimiento de PET y la segunda, debido a la resistencia del papel.

Prueba de Tensión: teja construida con 50% papel bond y 50% lirio acuático recubierta con PET

Para elaborar la prueba de tensión a la teja construida con 50% papel bond y 50% de lirio acuático, se usó una muestra de 40 mm de ancho por 120 mm de largo con un espesor de 7 mm y peso de 22 g. En la Figura 5, puede observarse un comportamiento parecido a la Figura 4, con la diferencia, de que puede apreciarse la fuerza elástica del recubrimiento de PET y luego la del papel con lirio.

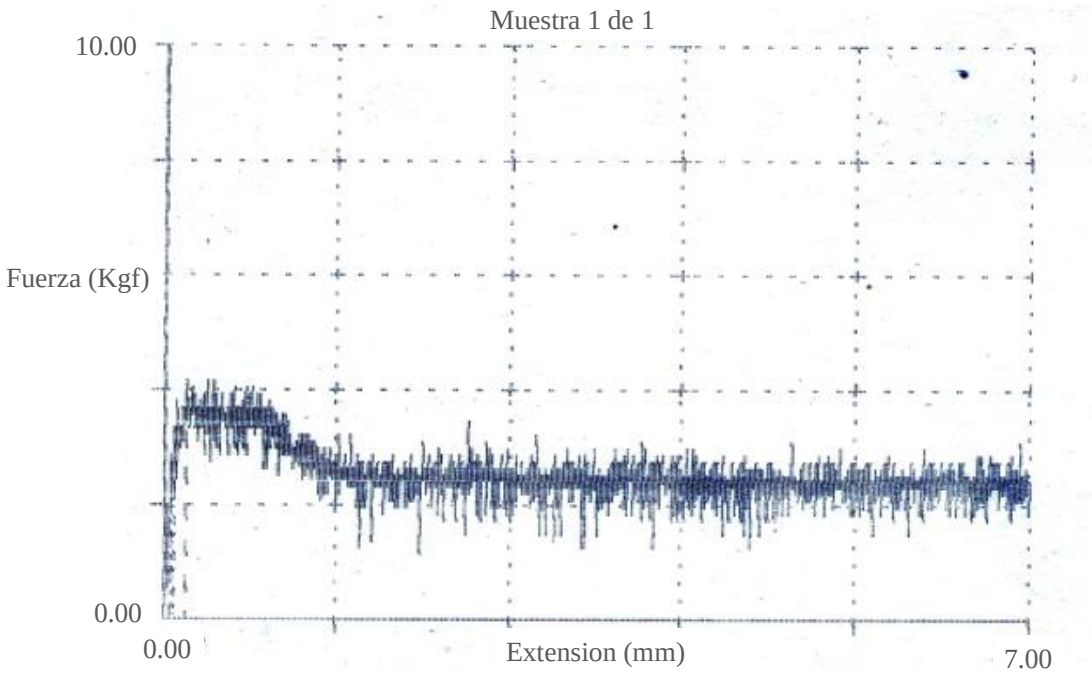


Figura 4. Fuerza (en Kgf) y Alargamiento (en mm), para teja construida con papel bond al 100% recubierta con PET.

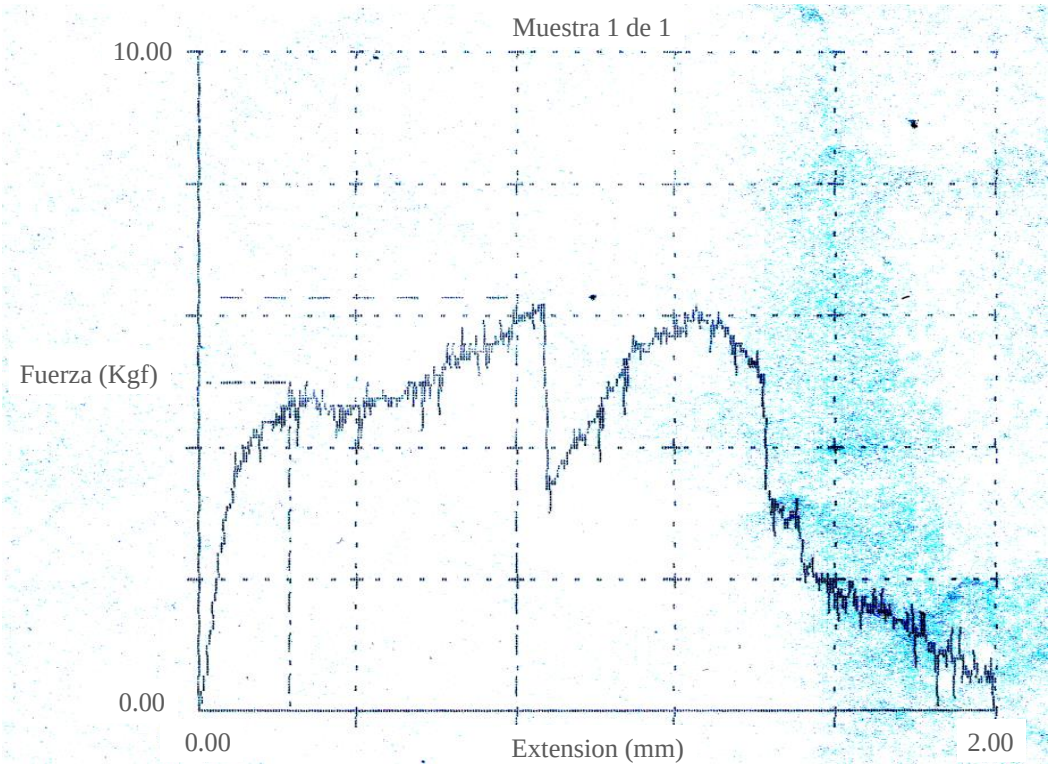


Figura 5. Fuerza (en Kgf) y Alargamiento (en mm), para una muestra de teja construida con papel bond al 50% con lirio acuático al 50% recubierta con PET.

En la Figura 5 puede observarse que el recubrimiento de PET tiene una fuerza elástica de 4.99 Kgf, aproximadamente son 5 Kgf de fuerza, físicamente esto quiere decir que el recubrimiento de la teja soporta hasta de 5 Kgf, sin deformarse de forma permanente, así por ejemplo, si a la teja se le aplican 3 Kgf en tensión, el recubrimiento de PET regresará a su forma original, caso contrario, si la fuerza de estiramiento es superior a 5 Kgf, el recubrimiento de la teja se deformará permanentemente soportando una fuerza máxima de 6.274 Kgf antes de sufrir fractura; también de la gráfica se puede apreciar que la elongación máxima del PET es de 1 mm aproximadamente.

Por otro lado, podemos ver que, al fracturarse el recubrimiento de PET, inmediatamente empieza a aplicarse la fuerza de tensión al papel, se observa que la fibra de papel y el lirio acuático, soportan una fuerza aproximada de 6 Kgf, después de lo cual la fuerza decae abruptamente.

En la figura 5 se observa que el comportamiento de la fibra de papel y lirio acuático es de forma parabólica que parte de 5 Kgf, tiene una fuerza máxima de 6 Kgf, finalmente alcanzando la rotura de la fibra, se puede observar que, en total, tanto la fibra como el recubrimiento de PET, alcanzan una elongación máxima de 1.5 mm.

Prueba de Tensión: teja construida con cartón al 100% recubierta con PET

En la prueba de tensión a la teja construida con 100% de cartón corrugado, se usó una muestra de 76 mm de ancho por 102 mm de largo con un espesor de 7 mm y un peso de 28 g. El comportamiento de la muestra se puede observar en la Figura 6.

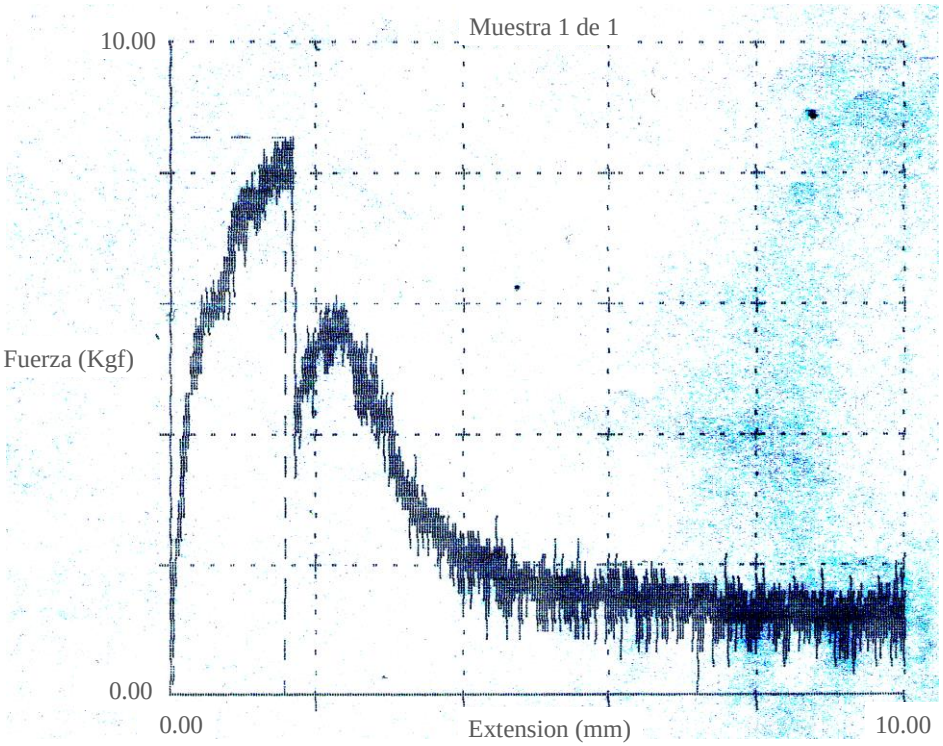


Figura 6. Fuerza (en Kgf) y Alargamiento (en mm), para teja construida con papel bond al 100% recubierta con PET.

Al igual que la Figura 5, puede observarse que primero se deforma y fractura el recubrimiento de PET y luego procede a ceder, a la fuerza de tensión, la fibra de cartón corrugado. Se puede notar que su resistencia elástica es mucho menor en comparación con las otras dos tejas, al tener 1.11 Kfg, significa que apenas resiste el 13% de fuerza con respecto a la fuerza que resiste la teja, que es de 8.586 Kgf, llegando a una elongación de 1.6 mm. De la Figura 6, se puede inferir, por la forma en que se comporta, que es un material frágil [16] [17]: soporta mucha fuerza, pero su deformación es muy pequeña.

El cartón corrugado al igual que el papel mezclado con lirio acuático, empieza con una fuerza mínima de 4 Kgf, llega un punto máximo de 4.5 Kgf aproximadamente, para después ceder a la fuerza de tensión para finalmente romper la fibra del cartón llegando a una elongación de 10 mm.

Análisis de las pruebas de tensión

Por la conducta de las gráficas, Figuras 4 a 6, se puede inferir que el recubrimiento del PET tiene un comportamiento de material frágil, cuando es aplicado en fibra de cartón y papel bond, en tanto que, si es aplicado en una fibra de 50% papel bond y 50% lirio acuático, el PET se comporta como un material elástico. La Tabla 1 muestra un concentrado de las propiedades obtenidas para cada prototipo de teja evaluada. Pese a la buena resistencia a la tensión (7 Kgf, ver Tabla 1) de la teja compuesta por fibra de 50% papel bond y 50% lirio acuático y recubierta con PET, más pruebas son necesarias para este prototipo de teja, como por ejemplo su degradación al ser expuesta al sol durante periodos largos, antes de poder ser usadas en la construcción de unidades habitacionales.

Tabla 1. Concentrado de los datos obtenidos de Fuerza (en Kgf) y Alargamiento (en mm), para teja construidas con diferentes tipos de papel.

Tipo de Papel	**Fuerza Máxima Kgf**	**Tensión Máxima Kgf/mm^2**	**Deformación % de rotura**	**Fuerza Elástica Máxima Kgf**
Papel bond al 100%	4.168	4.168	2.885	2.535
Papel bond al 50% con lirio acuático al 50%	6.274	6.274	0.000	4.991
Cartón corrugado al 100%	8.586	8.586	0.000	1.118

5. Conclusiones

Este trabajo ha mostrado que pueden ser construidas de forma manual tejas basadas en celulosa y recubiertas con PET. Sin embargo, el proceso de producción debe ser depurado y metodológicamente establecido para que pueda ser reproducido de forma masiva. Por otro lado, el proceso de fabricación puede ser modificado, empleando los mismos materiales, para que la pieza resultante tome diferentes formas, por ejemplo “azulejos” para recubrimientos interiores y exteriores. Por otro lado, las pruebas que se han realizado, aunque han permitido medir la tensión que soportan las tejas, deben ampliarse para obtener una muestra estadística representativa, al mismo tiempo

que dichas pruebas cumplan con las normas y estándares internacionales, entre ellos los de la ASTM.

Otro aspecto por explorar en el proceso de fabricación es la posible capacidad contaminante de los gases que se generan al llevar al PET a un estado líquido. Es importante también considerar que el PET se degrada al estar expuesto a los rayos de sol, por lo anterior el tiempo de vida de la teja pudiera no ser competitivo con las tejas comerciales, pero si con las láminas de cartón, dado que la cobertura de PET aísla al papel de la intemperie. Los resultados, por tanto, son muy promisorios ya que muestran que es posible fabricar tejas resistentes de buena calidad con materiales reciclados mediante un proceso manual.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica de Puebla por permitir el uso de sus laboratorios para realizar las pruebas experimentales de este trabajo.

Referencias

[1] D. R. Askeland, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Barcelona: Thomson, 2004.

[2] K. K. Lawania y W. K. Biswas, «Achieving environmentally friendly building envelope for Western Australia's housing sector: A life cycle assessment approach,» *International Journal of Sustainable Built Environment,* vol. (2016)5, p. 210–224, 2016.

[3] L. Bianco, R. Pollo y V. Serra, «Wood fiber vs synthetic thermal insulation for roofs energy retrofit: a case study in Turin, Italy,» de *8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16*, Turin, Itlay, 2016.

[4] Z. Berhane, «Performance of natural fibre reinforced mortar roofing tiles,» *Materials and Structures,*, vol. 27, pp. 347-352, 1994.

[5] A. Müller, H. Österlund, J. Marsalek y M. Viklander, «The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources,» *Science of the Total Environment,* vol. 709, p. 136125, 2020.

[6] Y. Liu, W. Yang y M. Hao, «Research on mechanical performance of roof tiles made of tire powder and waste plastic,» *Advanced Materials Research,* Vols. %1 de %287-88, pp. 329-332, 2010.

[7] G. O. Bamigboye, B. U. Ngene, D. Ademola y J. K. Jolayemi, «Experimental Study on the Use of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) and River Sand in Roof Tile Production,» *Journal of Physics: Conference Series,* vol. 1378, pp. 1-8, 2019.

[8] C. Gargari, C. Bibbiani, F. Fantozzia y C. A. Campiotti, «Environmental impact of Green roofing: the contribute of a green roof to the sustainable use of natural resources in a life cycle approach,» de *Florence "Sustainability of Well-Being International Forum". 2015: Food for Sustainability and not just food, FlorenceSWIF2015*, Florence, Italy, 2016.

[9] M. Seghiri, D. Boutoutaou, A. Kriker y M. I. Hachani, «The Possibility of Making a Composite Material from Waste Plastic,» de *International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17*, Beirut, Lebanon, 2017.

[10] I. Turku, T. Kärki y A. Puurtinen, «Durability of wood plastic composites

manufactured from recycled plastic,» *Heliyon*, vol. 4, p. e00559, 2018.

[11] B. Singh, M. Gupta, H. Tarannum y A. Randhawa, «Chapter 24. Natural Fiber-Based Composite Building Materials,» de *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites*, S. Kalia, B. S. Kaith y I. Kaur, Edits., Berlin, Springer, 2011, p. 737.

[12] S. K. Kujur, «Use of traditional inputs and advanced industrial technology in value-added within the pulp and paper industry in india,» *Journal of Sustainable Forestry*, vol. 38, nº 6, pp. 542-557, 2019.

[13] H. F. Lund, Manual McGraw-Hill de Reciclaje, vol. 1, Mexico: McGraw-Hill, 1996.

[14] A. Miguel-Barrera, D. Castañeda-Antonio, J. D. Santamaria-Juarez, J. A. Munive-Hernandez, A. Rivera-Tapia y M. E. Ramos-Cassellis, «Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático,» *Alianzas y Tendencias - BUAP*, vol. 5, nº 17, pp. 15-28, 2020.

[15] V. Madhukar, Mecánica de materiales, México: Oxford, 2003.

[16] M. J. Anglada, Fractura de materiales, Barcelona: UPC, 2002.

[17] T. L. Anderson, Fracture Mechanics fundamentals and applications, Florida: Taylor&Francis, 2005.