

## Desarrollo de una alternativa ecológica para la fabricación de estructuras auxiliares de madera

### Development of an environmentally-friendly alternative to the manufacture of auxiliary wood structures

*Javier Cruz-Salgado\**,

*Sergio Alonso-Romero\*\**

*Roberto Zitzumbo-Guzman\*\*\**

#### Resumen

Nuestra sociedad produce una materia prima muy valiosa: la basura. Sin embargo, la basura que se produce en México, así como el destino final de la misma, lejos de ser un área de oportunidad, representa un problema creciente. Los residuos plásticos forman una parte importante de la basura, siendo el Tereftalato de polietileno (PET) uno sobresaliente. En México se ha presentado un fenómeno de disminución en la producción forestal acompañado por un incremento en el consumo de madera. La industria de la construcción representa el segundo segmento más importante en consumo de madera. Entre los diferentes usos que este sector asigna a la madera se encuentran las estructuras auxiliares utilizadas para el colado de castillos y techos, conocidas como “cimbras”. Con la intención de contribuir positivamente a las dos problemáticas antes mencionadas, se propuso el desarrollo de un nuevo material compuesto de desechos de madera y plástico reciclado, PET, con el fin de desarrollar un prototipo de estructura auxiliar que permita sustituir los polines de madera o cimbras, empleados en la industria de la construcción.

**Palabras clave:** Deterioro ambiental, plástico reciclado, compuestos de madera plástico, tereftalato de polietileno (PET), madera líquida.

---

\* Maestro en Ciencia y Tecnología por Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, A.C.) Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo tecnológico de la Universidad Politécnica del Bicentenario. Temas de especialización: diseño de experimentos y compuestos de madera plástico. Correo electrónico: jeruzs@upbicentenario.edu.mx

\*\* Doctor en Ingeniería Química por la Escuela Politécnica de la Universidad de Montreal. Investigador titular del CIATEC, A.C. Temas de especialización: Ciencias de los materiales. Correo electrónico: salonso@ciatec.mx

\*\*\* Posdoctorado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. Investigador titular de CIATEC, A.C. Temas de especialización: nanociencia y materiales poliméricos. Correo electrónico: rzitzumb@ciatec.mx

## Abstract

Our society produces a valuable commodity: garbage. However, the garbage produced in Mexico, as well as its final destination, far from being an area of opportunity, is a growing problem. Plastic waste constitutes a significant part of refuse, particularly PET (polyethylene terephthalate). Moreover, in Mexico, the phenomenon of decreasing forest production has been accompanied by an increase in wood consumption. The construction industry is the second largest sector as regards wood consumption. Among the different uses of wood in this sector are the auxiliary structures used for building pillars and roofs, known as “*cimbras*”. In order to contribute positively to the above two problems, the development of a new material was composed, consisting of wood waste and recycled plastic (PET) in order to develop an auxiliary structure prototype that will make it possible to replace the wooden pillars or supplementary props used in the construction industry.

**Keywords:** Environmental degradation, recycled plastic, wood plastic composite, polyethylene terephthalate (PET), liquid wood.

## Introducción

Este trabajo de investigación aplicada se desarrolló debido a las preocupaciones sociales y medioambientales crecientes en materia de generación de residuos plásticos, así como a la disminución en la producción forestal, la investigación pretende contribuir positivamente tanto a la disminución de los materiales plásticos desechados en los vertederos del país, como a la disminución del consumo de madera, específicamente en la industria de la construcción.

Nuestra sociedad produce una materia prima muy valiosa: la basura. Los plásticos forman una parte importante de la basura y entre estos el PET es uno sobresaliente (Rémezc, 2006). La presencia de plásticos en los residuos se ha incrementado de forma continua en las últimas décadas (Hopewell *et al.*, 2009). Esto obedece a distintas causas entre las que destaca su utilización en productos que son desechados rápidamente por los usuarios. Se estima que alrededor del 50% de los plásticos que se producen se destina a aplicaciones de un solo uso, entre 20 y 25% se emplean en la construcción y el resto en la fabricación de otros productos, como electrónicos, muebles y vehículos (Hopewell *et al.*, 2009). En México los plásticos constituyen el 12.9 % de los residuos sólidos urbanos (INECC, 2012), aunque debido a su baja relación masa/volumen, su proporción en el espacio ocupado en los rellenos es hasta 2.5 veces mayor (Barlow, 2013). Tan solo en el 2013 se consumieron 710 mil toneladas de resina de PET para envases (INECC, 2015).

Por otra parte, el reciclado del PET es un negocio cada vez más rentable, debido a que el PET virgen se ha encarecido por el aumento de los precios del petróleo. A inicios de la presente década, los costos de PET virgen cayeron debido a los bajos precios de petróleo (el Brent promedio \$24.50 por barril y el ácido tereftálico purificado (PTA) había bajado hasta 21.7 centavos por libra), mientras que los de PET reciclado aumentaron año con año debido a un fuerte aumento de su demanda. Para 2002 el costo de producir PET virgen era casi 15 centavos por libra menor que el de producir pellets a partir de PET post-consumidor. Las tendencias se revirtieron por un año y en la segunda mitad de 2003, los costos eran muy similares. El incremento de costos de PET virgen continuó y tras un periodo corto de estabilización de los costos de PET reciclado su alza también se reanudó en 2004. De allí hasta 2006 ambos costos se movieron de forma similar al alza con el costo de producir pellets de reciclado un poco por encima que los costos de producir PET virgen. A partir del 2011, los precios de PET virgen se mantienen por encima de los de los pellets producidos de PET claro post-consumidor (15 a 20 centavos por libra) (Arias, 2011).

La disminución de la producción forestal maderable es motivo de preocupación social y medioambiental. Durante el período 2004-2013 la producción forestal maderable ha disminuido de forma constante iniciando con 6.7 millones de metros cúbicos rollo (m<sup>3</sup> r) en 2004 y finalizando este periodo con 5.9 millones de m<sup>3</sup> r (SEMARNAT, 2014). En los años 2010 y 2011 se registraron las producciones más bajas de la década ya que se obtuvo un volumen de 5.6 y 5.5 millones de m<sup>3</sup> r, respectivamente, con una disminución del 3.1% y 2.2% en relación al año anterior. Para 2013 la producción forestal maderable se mantuvo prácticamente estable en relación al año anterior con 5.88 millones de m<sup>3</sup> r lo que significó un decremento del 0.5% (SEMARNAT, 2014). Entre los diferentes usos que se asignan a la madera se encuentran las estructuras auxiliares utilizadas para el colado de castillos y techos, conocidas como cimbras.

El utilizar madera para fabricar dichas estructuras puede representar un problema ecológico debido al crecimiento continuo del sector de la construcción, 3.6% en los primeros seis meses del 2015 según el reporte enero-junio 2015 del Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO). Además, se debe tomar en cuenta que la madera es un material poco conveniente para este tipo de aplicación por sus propiedades mecánicas, defectos naturales propios de la madera y vida útil limitada. La madera al ser un producto natural presenta las características de un material complejo y variable. Sus propiedades mecánicas pueden cambiar según la especie vegetal, las zonas geográficas, la temperatura y la humedad (Dávalos, 1998). Se debe tener en cuenta también que en el proceso de secado de la madera se producen una serie de defectos como rajaduras, torceduras y grietas, lo que ocasiona que la calidad pueda disminuir (Ordoñez, 1998).

Teniendo en mente la selección de un material que contribuya a disminuir el deterioro ambiental, logre un balance entre las exigencias del mercado y costos de producción rentables y que, a su vez, logre sustituir la madera en la fabricación de cimbras y en la reutilización del PET, se propone el desarrollo de un compuesto de madera plástico con PET (polietilén tereftalato) como matriz polimérica y aserrín como relleno.

Desde un inicio los compuestos de madera plástico fueron diseñados para sustituir a la madera. Una característica interesante de los materiales compuestos es que ofrecen la posibilidad de fabricar productos específicamente adaptados a las necesidades requeridas y mejorar la relación precio funcionalidad. Durante las últimas décadas los compuestos de madera plástico han aumentado rápidamente su cuota de mercado como material de construcción (Carus, 2008). La gran mayoría de los productos de madera plástico que se fabrican actualmente incorporan los mismos productos: por un lado materiales termoplásticos y por otro, madera en forma de polvo. Esta combinación de plástico con madera no parecía muy prometedora, ya que la intención de agregar al material plástico un relleno de madera, era la disminución de la cantidad de plástico para de esta forma disminuir el costo del producto final. Sin embargo, los resultados de la combinación han sido sorprendentes debido al descubrimiento de que el relleno de madera, aporta al plástico mejoras en las propiedades mecánicas como, por ejemplo, la dureza (Cruz-Salgado, 2015).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es contribuir de manera positiva a la reducción, tanto de los residuos de PET en los tiraderos de basura como al consumo de madera en la industria de la construcción, mediante el desarrollo de un nuevo material compuesto por PET reciclado y madera en polvo, que permita el diseño de un prototipo de “cimbra”.

## **Materiales y métodos**

### **Materiales**

Los materiales compuestos son los más interesantes en ingeniería porque su estructura es más compleja. Podemos definir los materiales complejos como: un sistema de materiales formado por dos o más fases físicas distintas, cuya combinación produce propiedades conjuntas que son diferentes de las de sus constituyentes.

La importancia tecnológica y comercial de los materiales compuestos se debe a que sus propiedades no solamente son diferentes de sus componentes, sino que son superiores. La combinación de fases crea un material cuyo desempeño conjunto excede al de sus partes. El efecto es sinérgico. Algunas de las ventajas son:

- Diseños fuertes, rígidos y de peso más ligero que la matriz polimérica, obteniendo relaciones de resistencia y rigidez al peso mucho mejores a la de plásticos vírgenes convencionales.
- Con los materiales compuestos es posible lograr combinaciones de propiedades que no se pueden lograr con los metales, los cerámicos o los polímeros por sí solos.
- Es posible lograr mejor apariencia y control de la superficie.

Junto con estas ventajas, hay también desventajas y limitaciones asociadas a los materiales compuestos, algunas pueden ser:

- Las propiedades de muchos compuestos son anisotrópicas.<sup>1</sup>
- Muchos compuestos basados en polímeros están expuestos al ataque de agentes químicos o solventes.
- Algunos de los métodos de manufactura para su conformado son lentos y costosos.

Una posible clasificación de los materiales compuestos distingue entre: tradicionales y compuestos sintéticos. Los compuestos tradicionales son aquellos que existen en la naturaleza.<sup>2</sup> Los compuestos sintéticos son sistemas de materiales modernos asociados normalmente con la industria manufacturera donde los componentes se producen primero en forma separada y luego se combinan bajo control para lograr la estructura, las propiedades y la geometría deseada. Estos materiales sintéticos se conciben normalmente en el contexto de la ingeniería de productos.

En la forma más simple de la definición, un material compuesto consiste de dos fases: una primaria y otra secundaria. La fase primaria forma la matriz dentro de la cual se incorpora la segunda fase. La segunda fase sirve como refuerzo del compuesto. La fase de refuerzo puede ser en forma de fibra, partículas u otras. Las fases son generalmente insolubles una en otra, pero debe existir una fuerte adhesión entre sus interfaces. El sistema de clasificación para materiales compuestos con base en la fase matriz son: compuesto en matriz metálica, en matriz cerámica y en matriz polimérica. En cualquiera de estos tres tipos de compuesto se tiene lo que se conoce como fase de refuerzo, las fases de refuerzo más comunes se presentan en forma de: *fibra, partícula y hojuela*.

---

<sup>1</sup> Las propiedades de estos compuestos pueden cambiar en función de la dirección en la cual se miden.

<sup>2</sup> La madera es un material compuesto que se encuentra en la naturaleza.

*Fibra:* son filamentos de material de refuerzo, generalmente de sección transversal circular, aunque se usan a veces formas alternativas. El refuerzo con fibras brinda la mejor oportunidad para mejorar la resistencia de las estructuras compuestas. Se considera a la fibra el constituyente principal ya que soporta la mayor parte de la carga. El diámetro de la fibra tiene un efecto en la resistencia a la tensión, a medida en que el material se orienta más hacia la dirección del eje de la fibra, la probabilidad de defecto en la estructura decrece significativamente, lo que da como resultado un aumento en la resistencia a la tensión.

*Partículas:* las partículas son una forma importante del material para los metales y los cerámicos. La distribución de partículas en la matriz del compuesto es aleatoria y por tanto, la resistencia y otras propiedades del material compuesto son generalmente isotrópicas. El mecanismo de reforzamiento depende del tamaño de las partículas.

*Hojuelas:* son básicamente partículas bidimensionales y plaquetas pequeñas que generalmente se usan como agentes de refuerzo en los plásticos. Son de costo más bajo que los polímeros y añaden resistencia y rigidez a los compuestos para el moldeo de plásticos (Koenig, 1990).

Un compuesto de matriz de polímero consiste en una fase de polímero primaria en la cual es embebida una fase secundaria a base de fibras, partículas y hojuelas. Los ingredientes de la fase secundaria se llaman rellenos cuando se usan en compuestos para moldeo de polímeros. Los rellenos se dividen en dos categorías: refuerzos y extensores.

- Los rellenos de refuerzo sirven para fortalecer o mejorar de alguna manera las propiedades mecánicas del polímero.
- Los extensores simplemente incrementan el volumen y reducen el costo por unidad del peso del polímero, que tiene poco o ningún efecto en las propiedades mecánicas. Los extensores se pueden formular para mejorar las características de moldeo de las resinas.

## Procesamiento del compuesto

Se moldearon probetas del material compuesto de PET de baja viscosidad como matriz polimérica y madera en polvo como relleno. El PET fue obtenido de la empresa INVISTA ubicada en México, D.F. y la madera en polvo se obtuvo de una maderería local del municipio de León, Guanajuato. Primero el aserrín fue tamizado con una vibradora analítica de tamices AS 200 y un tamiz de prueba para análisis de granulometría con el objetivo de caracterizar el tamaño de partícula de relleno. De esta manera se obtuvo el polvo de madera utilizado como material de relleno.

Los componentes que forman el *Wood Plastic Composite* (WPC) fueron deshidratados en un horno de secado a una temperatura de 100°C. Después de la deshidratación, se pesaron los materiales para elaborar las diferentes formulaciones de cada tratamiento del diseño experimental. Para el mezclado de los materiales se utilizó un extrusor de laboratorio monohusillo Brabender (PL2200 PLASTICORDER, México) con un perfil de temperatura creciente hasta 260°C.

Para formar la mezcla que dio origen al WPC, los componentes de la mezcla se procesaron en el extrusor, el cual es alimentado mediante una tolva. Cuando los componentes de la mezcla se encuentran dentro del extrusor son empujados a través de las cuatro zonas de calentamiento por un tornillo sin fin llamado husillo. Cuando el PET entra en contacto con las paredes del cilindro del extrusor se comienza a fundir y la madera es encapsulada por el PET fundido. El agente de acoplamiento, que tiene un punto de fusión menor al del PET, se funde más rápido, lo que hace que se adhiera al PET y a la madera antes de que la madera sea encapsulada por el PET. Cuando el material ha atravesado las cuatro zonas de calentamiento se encuentra completamente reblandecido y mezclado, lo que le permite ser maleado en formas diversas. Una vez obtenido el compuesto, este fue molido para obtener un polvo fino. La molienda se llevó a cabo en un molino de cuchillas y con el material molido se moldearon probetas mediante compresión.

## Propiedades mecánicas

Las probetas moldeadas fueron analizadas siguiendo el estándar ASTM D 638 para propiedades de tensión (ASTM, 2008). Las pruebas fueron llevadas a cabo usando una Máquina de Tensión Universal Instron (modelo 1196) con una velocidad de 1 mm/min. Las variables de respuesta analizadas fueron resistencia a la tensión, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión, medidas en kilogramos fuerza (kgf/mm<sup>2</sup>).

## Resultados

El compuesto de madera-plástico formado por PET como matriz polimérica y madera como relleno natural ha mostrado que puede ser una alternativa para desarrollar estructuras auxiliares actualmente fabricadas con madera. Cuando se cuenta con el polvo fino del compuesto es posible llenar casi cualquier tipo de molde y generar diferentes formas plásticas. Al material desarrollado se le dio el nombre de “Madera líquida”. En la Figura 1 se muestra una foto del material denominado Madera líquida.

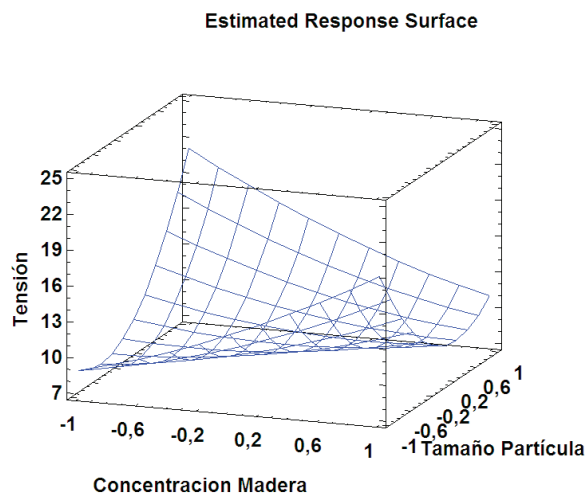
**Figura 1. Compuesto de madera plástico denominado “Madera líquida”**



Fotografía de los autores

Los resultados de resistencia a la tensión se muestran en la figura 2. La superficie de respuesta del diseño experimental ejecutado nos da información acerca de la formulación que debe de ser propuesta dependiendo de la aplicación a la que va dirigido el artículo fabricado. Si requiere alta resistencia deberá ubicarse en las condiciones de las esquinas opuestas, mientras que si la resistencia no es un problema, se pueden ubicar en las partes bajas de la resistencia a la flexión.

**Figura 2. Superficie de respuesta para la resistencia a la tensión del compuesto de madera líquida**





## Conclusión

Respecto al objetivo de la investigación podemos determinar que es posible contribuir a la reducción de los residuos de PET en los tiraderos de basura del país, así como disminuir el consumo de madera, mediante la aplicación del nuevo compuesto de madera plástico (Madera líquida) resultado de este proyecto de investigación aplicada. La identificación de los procedimientos operacionales del proceso de manufactura, hace posible fabricar el compuesto de residuos de madera (aserrín) y plástico reciclado (PET).

El proceso de manufactura del compuesto desarrollado requiere de procedimientos de operación demasiado precisos y controlados, ya que los experimentos revelaron la complejidad que representa trabajar con compuestos de madera-plástico. Si los procedimientos mostrados en este trabajo para la producción del compuesto son minuciosamente llevados a cabo, las propiedades que ofrece el material pueden ser empleadas en una gama muy amplia de aplicaciones industriales. Además de las estructuras auxiliares, el material podría ser evaluado en otras aplicaciones como: aglomerados, sustitutos de azulejos y autopartes, entre otras. Como desarrollo futuro se está haciendo una base de Madera líquida para muebles finos.

El desarrollo del proceso de manufactura del material y la optimización de dos propiedades mecánicas revela una gran cantidad de áreas de mejora para el material compuesto, por lo que se sugiere que antes de iniciar la construcción del prototipo se analicen propiedades como resistencia al impacto y a la compresión, además el estudio de factores de ruido o factores no controlables a nivel industrial pero controlables a nivel de laboratorio, de modo que se obtenga un material más robusto.

Con este trabajo de investigación aplicada se graduó un estudiante de maestría en el Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología de CIATEC, A.C. Por último, cabe señalar que el material desarrollado en esta investigación, denominado “Madera líquida”, cuenta con el registro de solicitud de patente con expediente, MX/A/2011/008552, 12-AGO-2011, folio MX/E/2011/056117.

## Referencias

- Arias, Raúl (2011). “El reciclaje de PET está en su mejor momento”. En *Tecnología del Plástico*. 4 (26): 12-16.
- Barlow, C. Y. y Morgan, D. C. (2013). “Polymer film packaging for food: An environmental assessment”. *Resources, Conservation and Recycling* 78: 74–80.
- Carus, M. y Gahle, C. (2008). “Injection moulding with natural fibers”. *Reinforced Plastics*, 52(4): 18-22.

- Cruz-Salgado, Javier, Sergio Alonso-Romero, Roberto Zitzumbo-Guzman (2015). "Optimization of the tensile and flexural strength of a wood-PET composite". *Ingeniería Investigación y Tecnología* 16 (1): 105-112.
- Dávalos Raymundo y Bárcenas Pazos (1998). "Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición 'Verde'". En *Madera y Bosque* 4 (1): 65-70.
- Eckert, Carl H. (2000). "Market opportunities for natural fibers in plastics composites. Luncheon presentation". Wood-Plastic Conference, December 5 & 6, 2000. Baltimore, MD.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2012). "Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos", México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2015). "México continúa con alta recuperación y reciclaje de residuos de envases PET post-consumo", México.
- Hopewell, J., R. Dvorak, y E. Kosior (2009). "Plastics recycling: challenges and opportunities", *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, 364(1526): 2115–2126.
- Koenig, Daniel (1990). *Productividad y Optimización Ingeniería de Manufactura*, Vol. 5, México, Publicaciones Marcombo, 368.
- Rémecz, José (2006). "¿Qué es el reciclaje?". Texto completo, URL: <http://www.elreydelpet.com.mx/sample-sites/%C2%BFque-es-el-reciclado.html>. Última consulta 10 octubre 2015.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2014). "Anuario estadístico de la producción forestal 2013".
- Ordoñez Candelaria, V. Rubén, Arturo Quiroz Soto y Reyna Paula Zarate Morales (1998). "Propiedades mecánicas de laminados estructurales con madera de encino". En *Madera y Bosque* 4 (2): 95-104.
- Zuñoga, David (2005). "Se reciclan sólo dos de cada 10 envases de PET", Texto completo, URL: <http://www.jornada.unam.mx/2005/05/04/index.php?section=sociedad&article=046n2soc>. Última consulta 10 octubre 2015.

Recibido: 10 septiembre de 2015

Aceptado: 1 de octubre de 2015

Editora asociada: Esperanza Tuñón Pablos