

# Propiedades Físico Mecánicas de la madera plástica elaborada con polímeros reciclados como aglutinantes

Fecha enviada: 5 enero 2022

Fecha corregida: 27 enero 2022

Jorge Emilio Godínez Lemus<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se analizó el efecto que tiene el polímero, utilizado como aglutinante en la formulación de madera plástica, sobre las propiedades físico-mecánicas dureza y fuerza de ruptura de la madera plástica fabricada.

Se trabajó con mezcla de los polímeros polipropileno (PP), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y teraftalato de polietileno (PET), todos de reciclado primario, y con fibras naturales provenientes del aserrío de la agroindustria de la madera.

El proceso utilizado fue el de moldeo por compresión en caliente, fabricando probetas circulares de 3 a 4 pulgadas de diámetro y un espesor de ½ pulgada. La composición de polímero en las formulaciones tuvo una variación entre 50 y 70%. Las fibras naturales utilizadas provinieron de desechos de aserrío utilizando un tamaño de partícula fijo de 250 µm (tamiz malla 60).

**Palabras Clave:** Material compuesto, desechos, agroindustria, reciclaje, aserrío, plásticos, termoformación.

## ABSTRACT

The effect of the polymer, used as a binder in the formulation of plastic wood, on the physical-mechanical properties, hardness, and breaking strength of manufactured plastic wood, was analyzed.

We worked with a mixture of polypropylene (PP), low-density polyethylene (LDPE), high-density polyethylene (HDPE) and polyethylene terephthalate (PET) polymers, all from primary recycling, and with natural fibers from agribusiness sawmills. From the wood.

The process used was hot compression molding, manufacturing circular specimens of 3 to 4 inches in diameter and a thickness of ½ inch. The polymer composition in the formulations had a variation between 50 and 70%. The natural fibers used came from sawmill waste using a fixed particle size of 250 µm (60 mesh screen).

**Key words:** Composite material, agroindustry, waste, recycling, sawdust, plastics, thermoforming.

## INTRODUCCION

La madera plástica es conocida como un material compuesto o WPC (Wood Polymeric Composite) que se caracteriza por ser obtenido por moldeo en caliente de mezclas a base de materiales poliméricos y fibras naturales tales como aserrín de madera y fibras de bambú (Klyosov 2007). Al combinar estos dos materiales se obtiene un producto con mejores propiedades fisicomecánicas que los aglomerados convencionales y al mismo tiempo ofrece una alternativa para la reutilización de desechos tanto poliméricos como agroindustriales.

En la actualidad son pocas las empresas que ofrecen tal producto en el país a pesar de que las cantidades de plásticos que conforman la basura han aumentado a niveles alarmantes. Según la Municipalidad de Guatemala ingresan al relleno sanitario de la zona 3 un total de 1162 toneladas de basura al día, provenientes no solo del casco urbano sino de algunos municipios aledaños (MuniGuate, 2020). Dentro de esta cantidad de basura el 3.14 por ciento, es decir 36.47 toneladas por día son desechos de plásticos, la mayoría utilizados en empaques de comida como bolsas y envases (Barillas, 2015).

De la diversidad de plásticos que se pueden encontrar entre la basura los más comunes son

---

<sup>1</sup> Ingeniero Químico

Profesor de los cursos de Termodinámica Química,  
Facultad de Ingeniería  
Universidad San Carlos de Guatemala, iqjgodinez@yahoo.com

# Propiedades Físico Mecánicas de la madera plástica elaborada con polímeros reciclados como aglutinantes

**Fecha enviada: 5 enero 2022**

polipropileno (PP), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y teraftalato de polietileno (PET) (Heinrich Böll, 2019)

Los polímeros enumerados anteriormente son termoplásticos lo que les confiere propiedades especiales para poder fundirse y reutilizarse una y otra vez. Un polímero termoplástico es un plástico que, a determinada temperatura, es deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas débiles de van der Waals, fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlaces de hidrogeno, o incluso anillos aromáticos apilados.

Las propiedades fisicomecánicas de estos polímeros cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces creando así un historial térmico, generalmente estas propiedades van disminuyendo a medida que se cumplen dichos ciclos, en el caso de esta investigación se utilizara polímeros de reciclado primario.

En el proceso de termoformado de la madera plástica se deben establecer tres temperaturas: La temperatura de fusión del polímero puro, la temperatura de autoignición de las fibras naturales y la temperatura de termoformado. Esta última se ve afectada no solo por el tipo, sino que también por la proporción entre la cantidad de polímero y de fibras naturales.

La utilización de polímeros de reciclado primario en su punto de fluidez como material aglutinante de fibras naturales proporciona una alternativa para la utilización de estos materiales de desecho. Se persigue como objetivo estudiar el efecto que el tipo y proporción de polímero y fibras naturales tiene sobre la temperatura de fabricación de un material compuesto.

## METODOS

Se utilizó el método de moldeo por compresión en caliente para fabricar probetas circulares de material compuesto. Las dimensiones de las probetas fueron de 3 pulgadas de diámetro y un espesor de ½ pulgada. Se eligieron como aglutinantes los polímeros de reciclado primario provenientes de los

**Fecha corregida: 27 enero 2022**

materiales más utilizados en empaques desechables para alimentos: polipropileno (PP), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y teraftalato de polietileno (PET).

El polímero se mezcló con fibras naturales provenientes de desechos de aserrío. Se utilizó un tamaño de partícula fijo de 250  $\mu\text{m}$  (Tamiz malla 60).

Las mezclas se sometieron a calentamiento a diferentes valores de temperaturas y tiempos de residencia en horno hasta alcanzar su punto de moldeo después del cual se sometieron a presado a una presión fija de 10 toneladas. Las probetas así obtenidas se enfriaron y luego fueron sometidas a pruebas fisicomecánicas para establecer los parámetros de dureza y resistencia a la tensión.

En el caso de la dureza, dado que el material fabricado se utilizará como alternativa a la utilización de madera natural, se midió por medio de la unidad Janka.

Las pruebas fisicomecánicas en cuanto a la dureza y la resistencia a la tensión proporcionaron criterios sobre como las formulaciones influyen no solo en las condiciones de proceso de la madera plástica, sino también sobre las características del material obtenido.

Las formulaciones con mejores características fisicomecánicas fueron:

Polipropileno 50/50, polietileno de baja densidad 70/30, polietileno de alta densidad 70/30 y tereftalato de polietileno 60/40.

## RESULTADOS

La madera plástica también conocida como Material Compuesto, es una alternativa al uso de la madera vegetal. Este Material Compuesto utiliza principalmente polímeros de reciclaje primario como material aglutinante y residuos de fibras naturales provenientes de la agroindustria del aserrío. Los componentes son mezclados, calentados y luego sometidos a presado, el resultado es un aglomerado que puede utilizarse como sustituto de la madera.

La calidad del producto compuesto obtenido depende principalmente del tipo de polímero utilizado en la formulación. Otro parámetro importante es el de la

# Propiedades Físico Mecánicas de la madera plástica elaborada con polímeros reciclados como aglutinantes

Fecha enviada: 5 enero 2022

temperatura de termo formación el cual por lo regular es mayor que la temperatura de fusión del polímero utilizado.

En esta investigación se presentan las propiedades físico-mecánicas de los materiales compuestos obtenidos de acuerdo con el polímero utilizado como aglutinante. También se muestra la temperatura de proceso adecuada para el procesamiento de la madera plástica utilizando polímeros de reciclado primario.

Se prepararon probetas experimentales con mezclas de fibras naturales de madera y polímeros de reciclaje primario: PET, HDPE, LDPE y PP.

Las probetas obtenidas se sometieron a pruebas físico mecánicas de tensión a la ruptura y dureza, registrándose los parámetros de proceso que proporcionaron la madera plástica con mejores propiedades.

En la figura 1 se muestra la temperatura de proceso adecuada para el proceso de termo formación de las probetas ensayadas de acuerdo con el tipo de polímero utilizado como aglutinante. Se puede observar que la mayor temperatura de proceso se necesitó para la mezcla que utiliza teraftalato de polietileno, 300°C, mientras que la menor temperatura registrada fue para el polipropileno, 160°C. En cuanto al polietileno de alta densidad y el polietileno de baja densidad la temperatura del proceso fue la misma, 190°C.

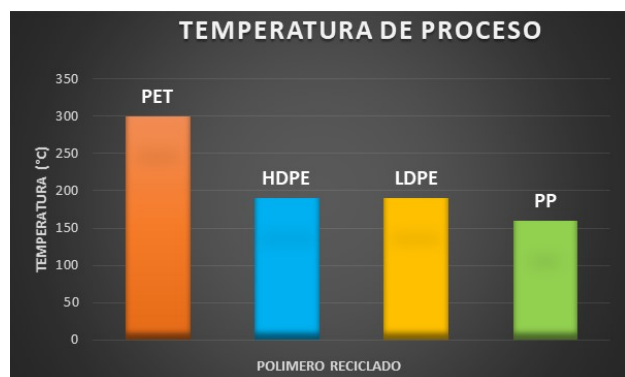


Figura 1. Temperatura de proceso para la madera plástica utilizando diferentes polímeros de reciclado primario.

En la figura 2 se muestra el tiempo de residencia en el horno que proporcionó las mejores propiedades físico-mecánicas en el material compuesto obtenido.

Fecha corregida: 27 enero 2022

Se observó que por encima de estos valores un aumento en el tiempo de residencia no influye significativamente en las propiedades de la madera plástica. La mezcla que requirió más tiempo dentro del horno de termoformación fue la de teraftalato de polietileno, 90 minutos, mientras que la que requirió menos tiempo fue la de polipropileno con 45 minutos.

Las mezclas con polietileno de alta densidad requirieron 65 minutos mientras que las que contenían polietileno de baja densidad requirieron 55 minutos.



Figura 2. Tiempo de residencia en horno para el proceso de termoformado de la madera plástica.

En la figura 3 se puede observar las formulaciones de polímero reciclado y fibras naturales que proporcionaron las mejores propiedades físico-mecánicas en el material compuesto obtenido.

Las formulaciones con polietileno ya sea de baja densidad o de alta densidad, ambas con una composición del 70% de polímero en relación con las fibras naturales, presentaron las mejores propiedades físico-mecánicas, mientras que para el teraftalato de polietileno la composición adecuada para el proceso fue de 60% de polímero.

La formulación que requirió la menor cantidad de polímero fue la de polipropileno de reciclado primario en una proporción de 50%.

# Propiedades Físico Mecánicas de la madera plástica elaborada con polímeros reciclados como aglutinantes

Fecha enviada: 5 enero 2022

Fecha corregida: 27 enero 2022

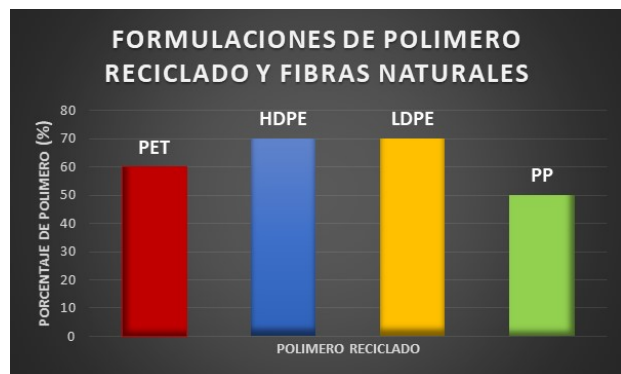


Figura 3. Formulaciones de madera plástica de acuerdo con el polímero de reciclado primario utilizado.

La figura 4 muestra el valor de la fuerza de ruptura de las probetas fabricadas, sometidas a prueba de compresión perpendicular a la fibra. Se observa que el polietileno de alta densidad ofrece el mayor valor con 1075 N, le sigue el polietileno de baja densidad con un valor de 549.38 N, mientras que el teraftalato de polietileno y el polipropileno presentaron valores similares de 235.44 N y 235.00 N respectivamente.



Figura 4. Módulo de ruptura de la madera plástica de acuerdo con el polímero de reciclado primario utilizado.

En la figura 5 se muestra los valores de la dureza determinada en unidades Janka donde se puede observar que solo tres formulaciones de las cuatro investigadas pasaron la prueba de dureza. Las mezclas con polietileno de baja densidad obtuvieron la mayor dureza con un valor de 1476 kN, le sigue de cerca el polietileno de alta densidad con un valor de 1326 kN.

El material que presentó menor valor de dureza fue el de formulación que contenía polipropileno con un valor de 166 kN.

En cuanto a las mezclas que contienen teraftalato de polietileno, no pasaron la prueba Janka de dureza.

Esta prueba requiere la determinación de la fuerza con la que el 50% del volumen de una esfera de acero de diámetro igual a 0.444 pulgadas penetra al material de la probeta, sin embargo, la probeta falló mecánicamente fisurándose primero y después destruyéndose.



Figura 5. Módulo de ruptura de la madera plástica de acuerdo con el polímero de reciclado primario utilizado.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La temperatura registrada para el procesamiento de las diferentes mezclas de polímero y aserrín se muestran en la figura 1.

Se pudo observar en todas las mezclas, con excepción de las mezclas formadas con fibras naturales y polipropileno, una diferencia entre las temperaturas de fusión de los polímeros puros y las temperaturas de proceso.

En el caso del teraftalato de polietileno el punto de fusión del polímero puro reportado es de 264.85°C (Mark, 1999). Por otro lado, la temperatura de proceso para las formulaciones al 60% con el mismo polímero fue de 300°C, al comparar estos valores se puede observar una influencia muy marcada de la presencia de las fibras naturales las cuales actúan como aislante y dificultan la transferencia homogénea de calor a través del material.

En cuanto al polietileno de alta densidad y el polietileno de baja densidad, ambos con una composición del 70% de polímero, se registraron temperaturas de proceso de 190°C para los dos compuestos de polímero. El punto de fusión para el

## Propiedades Físico Mecánicas de la madera plástica elaborada con polímeros reciclados como aglutinantes

**Fecha enviada: 5 enero 2022**

polietileno de alta densidad es de 145°C y para polietileno de baja densidad está en un rango de 104.85°C a 114.85°C (Mark, 1999).

El comportamiento es similar al observado para las formulaciones con tereftalato de polietileno, es decir se muestra una disminución en la velocidad de transferencia de calor, marcándose más en las mezclas que contienen polietileno de baja densidad.

Para las mezclas que contienen polipropileno se observó que la temperatura de proceso fue de 160°C. Esta temperatura es similar a la temperatura de fusión del polipropileno puro, entre 161°C y 162°C (Klyosov, 2007). Aparentemente en las mezclas de polipropileno al 50% el efecto de aislamiento térmico de las fibras naturales es menor que para las demás formulaciones analizadas. Sin embargo, la madera plástica preparada con polietileno es la que más contenido de fibras tenía (50% de fibra natural), por lo que se esperaría que el efecto aislante fuera mayor para esta formulación. No se debe olvidar que el polipropileno utilizado proviene del reciclaje primario en su mayoría de envases plásticos y que el proceso de fabricación de dichos envases utiliza copolímeros con comonomeros de etileno lo que disminuye la temperatura de fusión a un valor comprendido entre 140 y 155°C (Klyosov, 2007) lo que concordaría con el efecto de aislamiento de las fibras y la temperatura de proceso registrada.

Se observó que el tiempo de residencia en el horno aumenta a medida que aumenta la temperatura de proceso. Este comportamiento concuerda con el comportamiento de las temperaturas de fusión de los polímeros puros discutidos en el párrafo anterior, por lo que es de esperarse que, a mayor valor de temperatura, se necesita más tiempo dentro del horno para lograr la termo formación adecuada.

En cuanto a las propiedades fisicomecánicas, se determinó la fuerza de ruptura y la dureza. Estas cantidades se muestran en las figuras 4 y 5 respectivamente.

La fuerza de ruptura mostró su mayor valor en la madera plástica cuya formulación contenía polietileno de alta densidad, le sigue el polietileno de baja densidad, mientras que el tereftalato de polietileno y el polipropileno mostraron el mismo valor de fuerza de ruptura.

**Fecha corregida: 27 enero 2022**

En cuanto a la dureza, esta se reportó en unidades Janka las cuales se utilizan especialmente para ensayos en madera. Cabe mencionar que la madera plástica elaborada con tereftalato de polietileno no pasó la prueba, el material se destruyó antes de poder concluir la prueba en todas las repeticiones. Para la madera plástica fabricada con los otros polímeros se registró un mayor valor de dureza para el polietileno de baja densidad, seguido del polietileno de alta densidad y por último el polipropileno.

### CONCLUSION

La formulación que contiene tereftalato de polietileno al 60% necesitó la temperatura de proceso más alta, 300°C.

Tanto la formulación con polietileno de alta densidad como la formulación con polietileno de baja densidad, ambas al 70%, requirieron iguales temperaturas de proceso, 190°C.

La formulación con polipropileno al 50%, es la formulación que requirió el menor valor de temperatura de proceso, 160°C.

La formulación con polietileno de alta densidad al 70% fue la que presentó la resistencia a la ruptura más alta, 1075 N.

La formulación con mayor dureza Janka fue la de polietileno de baja densidad al 70% con un valor de 1476 kN, le sigue el polietileno de alta densidad al 70% con un valor de 1320 kN, por último, se tuvo al polipropileno al 50% con un valor de 235 kN. En cuanto a las formulaciones con tereftalato de polietileno el material se destruyó antes de completar el ensayo por lo que se considera que no pasó la prueba.

### Bibliografía

- ARRIOLA, J. (2016). Evaluación de los parámetros adecuados para la elaboración de madera plástica por compresión en caliente, a base de aserrín y polímero de reciclado primario, polietileno de alta densidad (HDPE). Tesis Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- BARILLAS J. (agosto 2015). Auditoría del Relleno de la Zona 3. Tesis Maestría Facultad de

## Propiedades Físico Mecánicas de la madera plástica elaborada con polímeros reciclados como aglutinantes

Fecha enviada: 5 enero 2022

Fecha corregida: 27 enero 2022

Arquitectura universidad de San Carlos de Guatemala

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_4255.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_4255.pdf)

GUERRA, M. (2014). Evaluación de los parámetros De operación adecuados para el procesamiento De la madera plástica, fabricada a partir de residuos de aserrín y polietileno de baja densidad de reciclado primario. Tesis Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

HEINRICH Böll. (2019). Atlas del Plástico.

<https://sv.boell.org/sites/default/files/2020/04/ATLASDELPLASTICOESPANOL2020.pdf>

KLYOSOV A. (2007). *Wood-Plastic Composites*. [Compuestos de madera y plástico]. New Jersey. John Willey & Sons, Inc.

MARK J. (1999). Polymer Data Handbook. [Manual De datos de polímeros]. Cincinnati. Oxford University Press, Inc.

[http://www.toarplast.co.il/linksPage/Hand\\_Book.pdf](http://www.toarplast.co.il/linksPage/Hand_Book.pdf)

MUNIGUATE. (2020). Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos. Memoria de Labores.

<http://docs.muniguate.com/2021/memoria/arc3lidos.pdf>

ORTIZ, A. (2015). Evaluación de las propiedades fisicomecánicas de la madera plástica elaborada a partir de mezclas de residuos de aserrín y polietilentereftalato reciclado (Pet reciclado). Tesis Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

RIVERA, M. (2014). Determinación de los Parámetros adecuados para la elaboración de Madera plástica por compresión en caliente de mezclas de desechos de madera teca (*Tectona Grandis*) reducidos a aserrín y polipropileno. Tesis Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.