

## PRODUCCIÓN DE MATRIZ POLIMÉRICA A PARTIR DE LA VIRUTA DE PMMA

**J . A. Parra<sup>(1)</sup>, W. Aperador<sup>(2)(3)\*</sup>, A. E. Delgado<sup>(1)(3)</sup>, C. España<sup>(4)</sup>, J. A. Puentes<sup>(1)</sup>.**

(1) Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería-Julio Garavito. Santa Fé de Bogotá, COLOMBIA.

(2) Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada,. Santa Fé de Bogotá, COLOMBIA.

(3) Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Colombiana de Ingeniería-Julio Garavito. Santa Fé de Bogotá, COLOMBIA.

(4) Departamento de Ciencias de la Ingeniería y la Producción, Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Javeriana, Cali-Colombia.

E-mail: \* g.ing.materiales@gmail.com

### RESUMEN

*En este trabajo se utilizó la viruta del procesamiento del polimetacrilato de metilo (PMMA) como material de relleno en resinas de Polietileno de alta y baja densidad. Se obtuvieron mezclas con relaciones del 0 hasta el 20% de relleno, dentro de una máquina mezcladora tipo Brabender con capacidad de 60 g , con un periodo de residencia en las cavidades y en los rotores de 10 minutos en cada una de las mezclas. Las probetas fueron moldeadas según normas ASTM para realizar las evaluaciones de propiedades mecánicas tales como ensayo tracción, resistencia al impacto y dureza shore. Los ensayos de resistencia a la tracción revelan que el material de relleno disminuye el esfuerzo a la tracción del material a medida que aumenta el porcentaje de inclusión*

### Tópico 1: Metalurgia Extractiva

Tópico 3: Materiales Poliméricos

**Palabras clave:** Polimetacrilato de metilo, polietileno de baja densidad, polietileno de alta densidad, resistencia a la tracción.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la fabricación de productos industriales es muy importante tener en cuenta el conocimiento que proporciona la ciencia de los materiales, pues finalmente esta provee las herramientas necesarias para comprender el comportamiento general de los mismos, y por consiguiente; determinar los diseños y procesamientos más confiables y económicos dentro de la industria.

La construcción de pisos industriales involucra la utilización de una gran variedad de productos que complementan al concreto mismo, con el fin de facilitar su construcción o incluso de mejorar su desempeño ante la exposición de distintos factores, tales como: Resistencia a la tracción, abrasión, impacto, cargas concentradas, choque térmico y ataque químico. Los productos fabricados de materiales compuestos traen numerosas ventajas para diversas aplicaciones, incluyendo alta

durabilidad, peso reducido, resistencia a la corrosión, bajo costo de mantenimiento y de instalación y estabilidad dimensional [1-5].

Comparado con otros sectores productivos, en el sector de la construcción la expansión de los materiales poliméricos no ha sido tan generalizada ni tan rápida como se podía esperar. Se trata de un sector cuyo conservadurismo histórico se ha visto reflejado numerosas veces cuando se han tratado de introducir importantes cambios. De todos modos, con el tiempo los materiales poliméricos están siendo introducidos, y actualmente son considerados como un tipo de material a tener en cuenta en un futuro muy cercano. De hecho la aparición de nuevas construcciones que han usado algún tipo de material compuesto, es siempre una señal de que la industria de estos materiales va siendo aceptada poco a poco por el sector. Las aplicaciones de los materiales poliméricos en el mercado de la construcción varían desde pisos, piezas para baños/bañeras y claraboyas, hasta paneles decorativos, paneles para muros cortina y materiales de fachadas (entre otros). Estos materiales son ideales para su uso en el mercado de la construcción por la estabilidad dimensional, alta durabilidad, ligereza, resistencia al impacto y baja inflamabilidad que poseen. Además permiten, mediante una adecuada elección de resinas y aditivos, una alta flexibilidad en el diseño. [6-9]

Por lo tanto, a la hora de escoger materiales que serán sometidos a ensayos de tracción, es importante considerar tanto las propiedades mecánicas que estos pueden llegar a poseer como el diseño bajo el cual se elaborarán con el fin de aprovechar al máximo dichas propiedades y por ende, soportar y distribuir adecuadamente las cargas a aplicar, para así garantizar una mayor duración del material. [10]

El propósito de la investigación es la reutilización de material de PMMA sobrante obtenido durante el proceso de fabricación de láminas de este mismo para diferentes aplicaciones; esta masa es considerada viruta por sus características físicas y mecánicas, la cual no puede ser reprocesada. Se realizó la incorporación de esta masa dentro de un proceso productivo, y así de esta manera disminuir el impacto ambiental generado por este material sobrante, así como también se optimizó la fabricación de piezas en otras aplicaciones acordes a las propiedades que pueda suministrar el PMMA como refuerzo dentro de otros materiales.

## **2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

### **Materiales.**

Los materiales utilizados como base para el estudio son resinas sin procesamiento previo las cuales vienen en gránulos de tamaño estándar y carecen de cualquier impureza propia de un reproceso, dentro de estos materiales está el HDPE y el LLDPE en su estado original. El material como refuerzo es PMMA en estado de viruta, de formas irregulares y con gran cantidad de impurezas propias como polvo y algunos residuos de película de LDPE correspondientes al procedimiento de fabricación de láminas del mismo material acrílico. En el proceso de obtención de láminas de PMMA, se produce una rebaba alrededor de las placas funcionales para la formación de dicho producto, la cual por su impureza no es apta para la reutilización dentro del mismo proceso, y por tanto la cantidad de este material de viruta es acumulado en un proceso de almacenaje, ya que representa un gran impacto ambiental al ser tratado como basura dentro del manejo de las mismas. El estado original de la viruta no es muy adecuado para ningún proceso de reutilización, por tanto se hace necesario pasarlo por un proceso de selección, molienda y tamizado. El tamizado se realiza con una malla No. 200, la cual permite un tamaño de partícula adecuado, resaltando que después de estos tres procesos de tratamiento previo, aún permanecen impurezas en el material, que son susceptibles de afectar un reprocesamiento, pero que representan gran parte del problema ambiental,

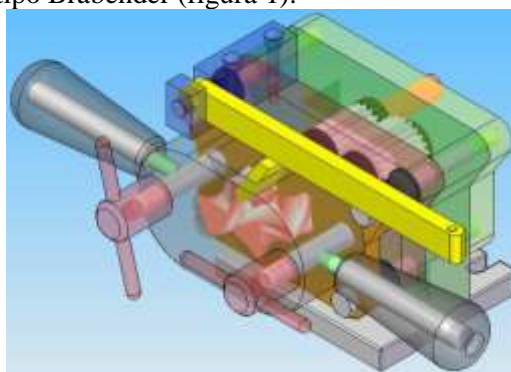
por tanto son tomadas en cuenta dentro del estudio de las mezclas, y por consiguiente en una futura aplicación del material.

#### Detalles Experimentales.

El procedimiento utilizado para la obtención de las muestras para cada mezcla contiene básicamente cinco partes: (1) Selección, molienda y tamizado de la viruta de PMMA, (2) Mezcla de cada proporción y distribución de partículas, (3) Proceso de mezclado en la máquina tipo Brabender con condiciones de temperatura y flujo apropiado, (4) Obtención de placas de cada muestra por termoformado, (5) Obtención de probetas para ensayos físicos y mecánicos. El material de PMMA considerado como desecho en la industria es pasado por un proceso de selección visual para ser despojado de impurezas de gran tamaño y de características análogas al propio material, luego es clasificado con la ayuda de un tamiz No. 200 según la ASTM para un tamaño de partícula menor a 75 micrones, de esta manera se obtuvo un material de refuerzo uniforme y acondicionado para ser reprocesado. Para la obtención de las muestras, se procede a una mezcla con proporción en peso de cada uno de los materiales, los cuales son de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de viruta de PMMA, para cada uno de los materiales base; una vez obtenidas las proporciones necesarias, se lleva cada una de ellas al interior de las cavidades de la mezcladora, la cual tiene previamente una velocidad de 50 rpm y una temperatura estabilizada de 200°C (lectura de la temperatura en las resistencias alrededor de las cavidades, por tanto no es la temperatura efectiva en la masa mezclada). El proceso de mezclado fue obtenido en un equipo de rotores tipo Brabender (figura 1).



(a)



(b)

Figura 1. a) Mezcladora tipo Brabender, donde se obtuvo el material compuesto; b) Proyección isométrica del sistema de mezcla con rotores de flujo turbulento.

El proceso de mezclado tiene una duración de 10 minutos, en el cual se toman registros de torque y temperatura durante ese período, y del cual se analiza el comportamiento de la mezcla.

Una vez terminado el proceso de mezcla, se detienen los rotores, se detiene la entrada de calor y se extrae con elementos de bronce el material obtenido, el cual se solidifica en el término de 3 a 5 minutos.

Debido al método de extracción del material, este se presenta de formas irregulares y de tamaños diversos. Se reúnen toda la cantidad de material extraído y se clasifica según sus componentes; hasta obtener todas las muestras necesarias para el análisis.

Para que estas muestras sean llevadas a ensayos físicos y reológicos, se necesita darle una forma geométrica adecuada, por tanto se procede a un proceso de termo formado con un aparato que consta con una prensa hidráulica, resistencias y un molde de acero ASTM A36. Las cavidades del molde cuentan con dimensiones de (120x120x2) mm.

El proceso de moldeo de placas, se realiza mediante la aplicación de presión y temperatura hasta la obtención de la forma del molde. Una vez obtenidas las placas para cada muestra, de estas son

cortadas las probetas necesarias para su medición física según la norma de la ASTM para ensayo de tensión.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por medio de un control electrónico sobre los parámetros influyentes dentro del proceso de mezclado, se obtienen gráficos de torque y temperatura para cada una de las muestras. Con lo cual se ha podido observar las condiciones superficiales de procesamiento a las cuales está sometida la mezcla, y a partir de ello deducir un comportamiento esperado en condiciones de un proceso industrial tecnificado. A través de software de teoría de control como lo es Labview 8.0, se logran obtener una serie de datos con los cuales podemos realizar gráficos de torque vs. Tiempo (figura 2). Por medio de estas pruebas se puede determinar los picos en el esfuerzo mecánico del motor de la máquina, y de esta manera evaluar la complejidad del suceso de mezclado alrededor de los rotores de mezclado. Esta serie de datos es de especial interés para el establecimiento de condiciones de procesamiento una vez obtenido un resultado conciso dentro de la evaluación de propiedades mecánicas.

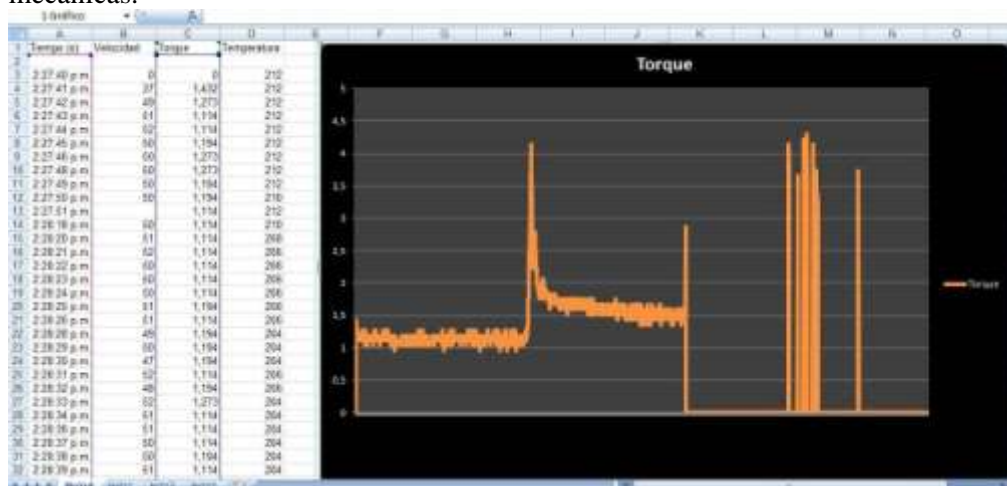


Figura 2. Gráfico del comportamiento del torque de la máquina durante el proceso de mezclado.

En la Figura 3 se muestran los gráficos de esfuerzo deformación del HDPE como material matriz; se puede determinar que a medida que aumenta el porcentaje de viruta de PMMA el esfuerzo a la tracción disminuye, por lo cual se considera que la adición de viruta de PMMA es perjudicial para la resistencia mecánica del compuesto. Así mismo, se denota que la deformación se hace más corta con la adición de viruta, y por tanto aumenta la fragilidad del material. Esta caracterización mecánica de las muestras con HDPE, lo clasifican como no viable, ya que el efecto de la viruta de PMMA sobre esta matriz es perjudicial.

En la figura 4, se observa el LLDPE con refuerzo, contrario al comportamiento de HPDE, se obtiene un aumento gradual en la resistencia mecánica a medida que aumenta el porcentaje de PMMA dentro de la mezcla, encontrado un máximo en la proporción con 20% de viruta. Se establecen comparativos entre puntos extremos (figura 4), donde se observan los cambios en propiedades mecánicas. Aunque se obtiene un aumento en la resistencia mecánica, también ocurre una disminución en la deformación del material, lo cual aumenta su fragilidad. Por tanto, se debe considerar esta mezcla en casos donde no se requiera propiedades altas de ductilidad como con el material sin refuerzo.

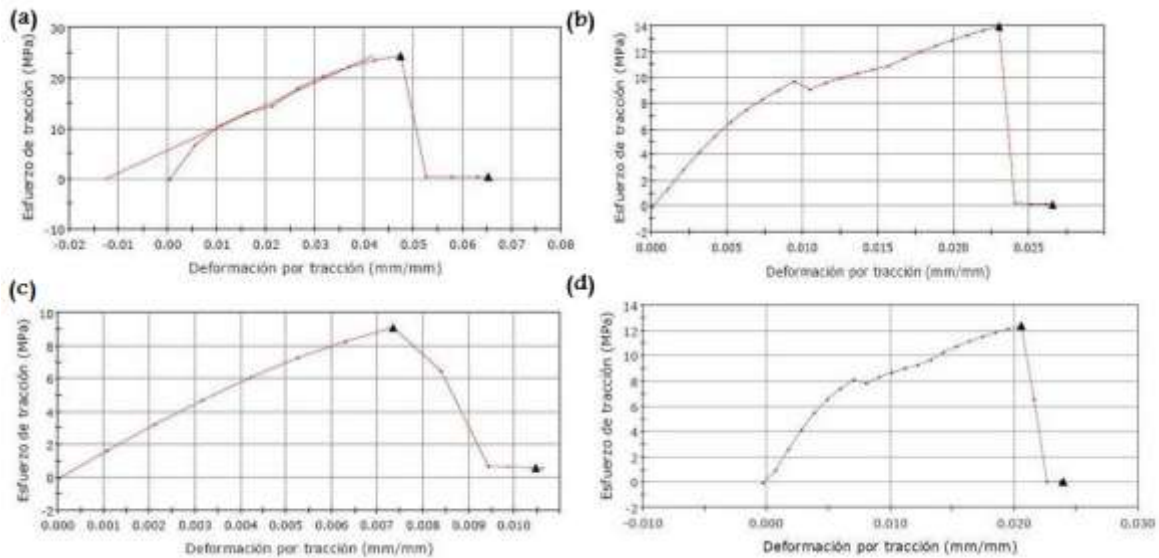


Figura 3. (a) Gráfico de esfuerzo-deformación HDPE 100%, (b) Gráfico de esfuerzo-deformación HDPE con 10% de PMMA, (c) Gráfico de esfuerzo-deformación HDPE con 20% de PMMA, (d) Gráfico de esfuerzo-deformación HDPE con 30% de PMMA.

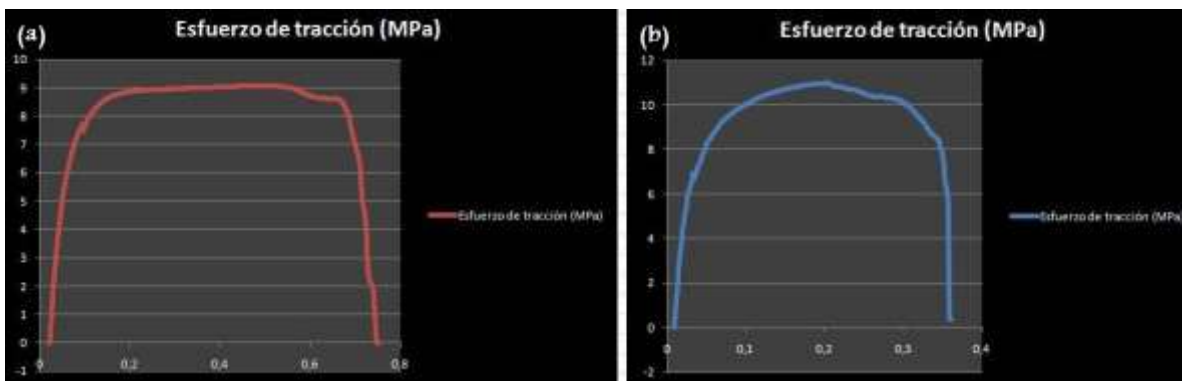


Figura 4. (a) Gráfico de esfuerzo-deformación LLDPE con 5% de PMMA, (b) Gráfico de esfuerzo-deformación LLDPE con 20% de PMMA.

#### 4. CONCLUSIONES

La mezcla de viruta con polietileno de alta densidad, no resulta ser viable, porque a medida que es aumentado el porcentaje de carga, la resistencia mecánica del compuesto disminuye. Por otro lado, la mezcla de viruta de PMMA con LLDPE resulta factible, por que se obtiene una mejora en las propiedades mecánicas, y con esto un mejoramiento de la calidad en los productos procesados a partir de este material considerando como principal característica la resistencia mecánica y no la ductilidad.

La procesabilidad de la mezcla considerada como factible, es evaluada, y considerada como aceptable, ya que se encuentra dentro de los rangos normales, una vez observado el gráfico del torque de la máquina de mezclado con esta proporción.

## REFERENCIAS

1. B.W. Rosen, Mechanics of composite strengthening, *Fibre composite materials*, American Society for Metals (1965) p. 37–75.
2. Y.L. Xu and K.L. Reifsinder, Micromechanical modelling of composite compressive strength, *J Compos Mater*, Vol. **27** (1993), p. 572–588.
3. A.J. Aref, S. Alampalli, Vibration characteristics of a fiber-reinforced polymer bridge superstructure. *Composite Structures*, Vol. 52, (2001), p. 467-474.
4. J. Kenny, Joining Technologies for Polymeric Matrix Composites: Present and Future. *COMPOSIT workshop on “Joining Technologies for Composite Transportation Structures”*, Orbassano, 2003.
5. A.S. Argon, Fracture of composites, *Treatise of material science and technology* vol. **1** (1972), Academic Press, New York.
6. D.C. Lagoudas and A.M. Saleh, Compressive failure due to kinking of fibrous composites, *J Compos Mater*, Vol. **27** (1993), p. 83–106.
7. J. Lee and C. Soutis, Thickness effect on the compressive strength of T800/924C carbon fibre–epoxy laminates, *Compos Part A*, Vol. **36** (2005), p. 213–227.
8. P.Z. Bazant, J.H. Kim, I.M. Daniel, B.G. Emilie and G. Zi, Size effect on compression strength of fibre composites failing by kink band propagation, *Int J Fract*, Vol. **95** (1999), p. 103–141.
9. Recasens, J. Nuevas Aplicaciones de los Materiales Compuestos en la Construcción. *16ª Jornadas de Materiales Compuestos/Plásticos Reforzados*, Barcelona, 2002.
10. Renaud, C.M. Effect of Glass Fibers and Environmental on Long-Term Durability og GFRP Composites. *16ª Jornadas de Materiales Compuestos/Plásticos reforzados*, Barcelona, 2002.
11. Diseño y caracterización de un compuesto fibrorreforzado de matriz polimérica y fibra de carbono como modelo en la Implementación de cascos para ciclismo. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, Vol S1 2009; p. 1127-1132
12. C. Kim and S.R. White, The continuous curing process for thermoset polymer composites. Part 2: experimental results for a graphite/epoxy laminate, *J Compos Mater*, Vol. **30** (1996), p. 627–647.
13. J. Niklewicz, G.D. Sims, Size effects in composite materials. Structural Integrity and Performance Project CPD1, National Physical Laboratory, NPL Report MATC (A), Vol 74 (2002).
14. E. Lackey, J.G. Vaughan, Examination of fiber/resin interface adhesion for pultruded composites. *Proceedings of the 43rd International SAMPE Symposium*, Vol. 43 (1998), p. 2158 – 2168,

