

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE PET RECICLADO REFORZADO CON 5 Y 40% EN PESO DE PARTÍCULAS DE ZINC

CHARACTERIZATION OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON RECYCLED PET REINFORCED WITH 5 and 40 wt % OF ZINC PARTICLES

Jessica J. Osorio¹, Enrique Rocha², Mario Romero¹, Alejandro Altamirano¹ y Elizabeth Refugio¹

(1) Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Materiales, Departamento de Materiales, Av. San Pablo # 180, Col. Reynosa-Tamaulipas, 02200 México, D.F. - México

(2) Universidad Politécnica de Victoria, Av. Nuevas Tecnologías # 5902, Parque Científico y Tecnológico de Tamaulipas, 87138 Ciudad Victoria, Tamaulipas - México
(e-mail: erochar@upv.edu.mx)

Recibido: 11/08/2011 - Evaluado: 20/10/2011 - Aceptado: 22/11/2011

RESUMEN

En este estudio se analiza el comportamiento físico y mecánico que presenta un nuevo material compuesto formado por una matriz polimérica de PET reciclado y reforzado con partículas de zinc. Para este análisis se obtiene polvo en dos distintas composiciones de 5 y 40% en peso de partículas metálicas, con el fin de fabricar por tecnología de polvos las muestras necesarias para obtener los resultados que permitan determinar el comportamiento físico y mecánico de estos materiales. En ésta caracterización se ocupan probetas procesadas a una temperatura constante de 256 °C, aplicada isotérmicamente por 10, 15 y 20 minutos. Se realiza un análisis comparativo por microscopía óptica y estereoscópica. Los resultados obtenidos muestran que el material que presenta el mejor comportamiento mecánico y microestructural, es el que fue procesado isotérmicamente por 15 minutos y que presenta el mayor contenido de partículas de zinc.

ABSTRACT

This study analyzes the physical and mechanical behavior that presents a new composite material formed by a polymer matrix reinforced with recycled PET and zinc particles. For this analysis, powder is obtained in two different compositions of 5 and 40 wt% of metal particles, in order to manufacture by powder technology necessary samples to obtain the results for determining the physical and mechanical behavior of these materials. In this characterization test tubes processed to a constant temperature of 256 °C are used, isothermally applied in 10, 15 and 20 minutes. A comparative analysis is performed by optical and stereoscopic microscopy. The obtained results show that the material that presents the best mechanical and microstructural behavior, is the one that was isothermally processed for 15 minutes and that presents the highest content of zinc particles.

Palabras clave: PET-zinc, sinterización isotérmica; tecnología de polvos; polímero-metal

Keywords: PET-zinc; isothermal sintering; powder technology; polymer-metal

INTRODUCCIÓN

Los polímeros forman una gran rama de los materiales que incluye a los termoplásticos, familia a la que pertenece el tereftalato de polietileno (PET), con el que se fabrican botellas que según la Confederación de Cámaras Industriales (CONCAMIN, 2008), suman anualmente nueve mil millones en México, de las cuales, según estudio de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-2007), tan solo se recupera el 38.7%. De tal forma que se puede coadyuvar en la eliminación de un material que actualmente puede representar un problema ambiental, transformándolo en un bien de consumo. Considerando que los materiales termoplásticos empleados como matriz, permiten ser reforzados en diferentes proporciones y combinaciones de elementos tanto cerámicos como metálicos e incluso poliméricos. Así estos refuerzos ayudan a reducir costos y modificar propiedades específicas con la intención de obtener una gama de materiales para usos particulares.

De acuerdo con Wang et al. (2009), Navia et al. (2007) y Machovic et al. (2008), con ciertas combinaciones de polímeros y refuerzos se pueden fabricar materiales antibacteriales, cerámicos porosos y cemento reforzado respectivamente. Así como estructuras de lápices, paneles para la industria automotriz, contenedores opacos, materiales de construcción, carpetas para pavimento y losetas de baja porosidad, acorde a los trabajos de investigación y patentes de Cook y Leidner (2003), Lustiger y Vallentage (2006), Zhenguo y Xiaoyan (2008), Rebeiz y Fowler (1994), Daisuke et al. (2005) y Arias et al. (2004). Cabe mencionar que entre los refuerzos para materiales de matriz polimérica más empleados está la fibra de vidrio ocupada por Rezaeian et al. (2009), sin embargo, también se ha usado: aserrín por Ahmad et al. (2008), microfibrillas de poliestireno por Saikrasun et al. (2009), hidroxapatita por Zhang (2008), polietileno o fibras de poliéster por González et al. (2004), arcilla volcánica por Sánchez y Manero (2006), fibras de basalto y polvo de talco por Kra et al. (2008) y nanotubos de carbono por Shiuan-Hua et al. (2007), entre otros.

Considerando los múltiples usos que se le puede dar al PET, se han desarrollado metodologías de procesamiento para conformar materiales compuestos a base de una matriz polimérica reforzada, obtenidos principalmente por procesos que combinan el moldeo por inyección termoplástica y la metalurgia convencional de polvos. Aunque no se encontró evidencia del uso de una técnica de polvos, (que incluya el mezclado de los componentes en polvo por molido mecánico, para ser conformados por prensado y pasar a un proceso final de sinterización isotérmica), aplicada a materiales compuestos, como la que se emplea en este estudio.

De tal forma que las características del PET mencionadas por Kalpakjian y Schmid (2008), Rezaeian et al. (2009) y el Departamento de Química Orgánica (DQO-UV, 2011), relacionadas a su ligereza, resistencia, buen acabado superficial, bajo costo comparativo, alta relación resistencia peso particularmente cuando son reforzados, su facilidad de reciclamiento por métodos mecánicos, su relativamente alto punto de fusión entre los 252 y 260°C, su baja densidad de aproximadamente 1.33 gr/cm³ y su facilidad de manipulación sobre todo al incrementar la temperatura. Aunadas a las características del zinc mencionadas en MaTeCK's (2006), relativas a su maleabilidad, a su densidad de 7.133 g/cm³, a su particularmente bajo punto de fusión de 419.58°C, que le permite moldearse a temperaturas moderadas que generan ahorros energéticos y de proceso considerables. Características que en conjunto permiten obtener materiales ligeros, fácilmente manipulables, con buen acabado superficial y un bajo costo de proceso por emplear materiales reciclados, además de la baja relación tiempo temperatura de proceso. Generando materiales que pueden servir para elementos de empaque, paneles decorativos o incluso como losetas

METODOLOGÍA

Descripción del método

La técnica a emplear para la preparación de los materiales es una técnica de polvos que se basa en 3 etapas fundamentales: Primero los polvos son mezclados y molidos a una velocidad y tiempo definido, para posteriormente compactarlos con ayuda de un dado de acero con las dimensiones requeridas de acuerdo a las

probetas deseadas, en una prensa hidráulica uniaxial, y por último se sinterizan isotérmicamente (la mufla debe haber alcanzado la temperatura de operación antes de que las muestras sean ingresadas, y una vez transcurrido el tiempo definido se retiran de la mufla y se dejan enfriar a temperatura ambiente).

Preparación de los materiales

Con el fin de fabricar las probetas necesarias para realizar las pruebas y ensayos contemplados, fue necesario primero generar el polvo de PET reciclado (rPET) a partir de botellas de desperdicio. Éste fue obtenido por molido mecánico, tamizando el polvo para uniformizar la partícula en un tamaño máximo de 420 μm . Posteriormente el polvo fue mezclado con partículas de zinc de entre 1 a 5 μm , con pureza de 99.7%, (QuimiNet, México), empleando un molino de rodillo y un recipiente de alta alúmina con elementos de molienda de zirconia estabilizada en una relación de 1 a 15. Efectuando la molienda a una velocidad de 375 ± 5 rpm, por 3 horas y empleando una proporción de 5 y 40% de zinc en peso, respectivamente.

Fabricación de las probetas

Partiendo de los polvos previamente preparados se fabricaron comprimidos en forma de pastilla con ayuda de un dado de acero de 20mm de diámetro interno, cuantificando 2g de polvo por comprimido para las mediciones de densidad aparente, absorción de agua y dureza. También se fabricaron probetas rectangulares de 10 X 10 X 70mm para los ensayos de flexión e impacto, con ayuda de un dado de acero apropiado para estas dimensiones. Además se fabricaron probetas para el ensayo de compresión usando un dado de acero en forma cilíndrica en una proporción de 1 a 1, con diámetro de 10 mm. Usando en todos los casos 3 probetas para cada ensayo.

Así mismo, todas las probetas independientemente de la forma se compactaron en una prensa hidráulica uniaxial a 180 ± 5 MPa y se sinterizaron isotérmicamente a $256 \pm 1^\circ\text{C}$ por 10, 15 y 20 minutos en una mufla Lindberg, modelo 51894, la cual alcanza una temperatura máxima de 1100°C .

Técnicas de caracterización

Se indican las diferentes caracterizaciones aplicadas en las muestras.

- Caracterización física

ρ , Densidad aparente: por el método de Arquímedes

$A_{\text{H}_2\text{O}}$, Absorción de agua (D 570 ASTM 1984, aplicada en pruebas de absorción de agua en plásticos)

- Caracterización mecánica

D, Dureza (Shore D)

RC, Resistencia a la compresión (D 695 ASTM 1984, aplicada en pruebas de compresión para plásticos rígidos)

RF, Resistencia a la flexión (D 790 ASTM 1984, aplicada para pruebas de flexión en compuestos con matriz polimérica)

RI, Resistencia al impacto (IZOD) (D 256 ASTM 1984, aplicada en pruebas de resistencia al impacto por el método Izod)

- Caracterización microestructural

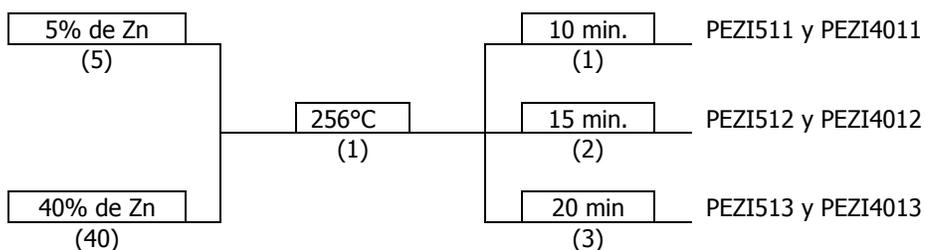
MO, Microscopía óptica

ME, Microscopía estereoscópica

- Codificación de las probetas

En la tabla 1, de acuerdo a las condiciones de trabajo se presenta la codificación a usar para las 6 muestras de estudio. Donde el primer número corresponde a la concentración de zinc, el segundo a la temperatura y el tercero al tiempo, obteniendo la codificación que se muestra en la cuarta y última columna.

Tabla 1: Codificación de los 6 diferentes materiales.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de la densidad aparente

Los valores de densidad aparente que se muestran en la gráfica de la figura 1, se obtuvieron por el método de Arquímedes, con el auxilio de una balanza de densidades (Ohaus, mod. 311).

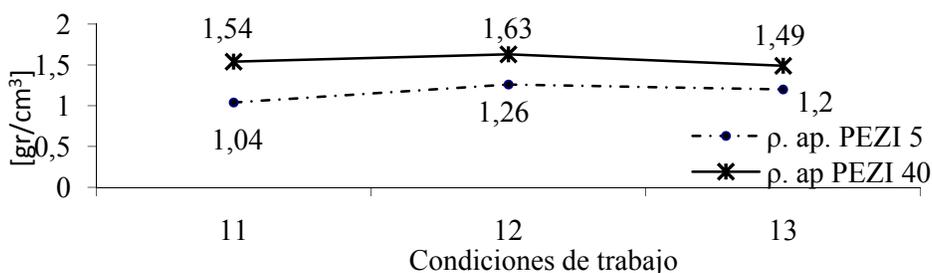


Fig. 1: Gráfica comparativa de los resultados de densidad aparente.

En la gráfica de la figura 1 se puede observar que la curva asociada al material con mayor contenido de zinc (PEZI40), considerando los tres tiempos evaluados, presenta mayores valores de densidad. Este comportamiento es totalmente esperado, debido a la gran diferencia entre los valores de densidad de los elementos constitutivos de la mezcla, pues la densidad del zinc, es poco más de cinco veces la del PET según los valores del Departamento de Química Orgánica (DQO-UV, 2011), y de MaTeck´s (2006).

Así mismo, se puede notar que en ambas curvas la tendencia inicial es a crecer conforme aumenta el tiempo de proceso. Este comportamiento puede estar relacionado al coeficiente de conductividad térmica que según TET (2010) y Rubio (2005) es de 120 W/mK el del Zn, que es muy superior al rango de 0.15-0.5 W/mK del PET, lo que puede provocar que al haber un mayor contenido de metal en la muestra, el calor se difunda más uniformemente a través de todo el compacto, favoreciendo la homogeneidad en el proceso de sinterizado. Sin embargo, al exceder el tiempo ideal de trabajo para cada mezcla, se inicia una disminución en la densidad aparente. Disminución que puede ser originada por la presencia de cierta porosidad, pues al unirse las partículas poliméricas quedan espacios libres generados al difundirse las partículas de metal, los cuales disminuyen la densidad. Por lo que el mejor comportamiento en ambos casos, se da en las muestras sinterizadas por 15 minutos.

Porcentaje de absorción de agua

Para conocer el porcentaje de absorción de agua, primero se pesaron las muestras en seco, con una balanza Ohaus mod. 311, y después de mantenerlas sumergidas por 24 h a 22±1°C se volvieron a pesar eliminando tan solo el agua superficial.

La figura 2 muestra el porcentaje de absorción de agua en función del tiempo de sinterización y de la cantidad de zinc empleado.

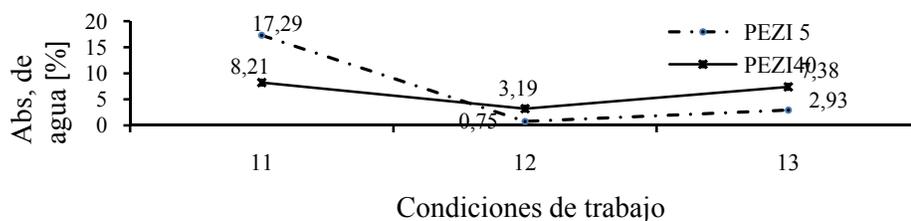


Fig. 2: Gráfica comparativa de los resultados de porcentaje de absorción de agua

La mayoría de las muestras presentan altos porcentajes de absorción de agua, ya que en los polímeros en general estos valores oscilan acorde al IMPI (2000), entre 0.01-1.5%. Ya que la presencia del metal puede mejorar la resistencia, pero también interfiere en la unión interparticular del polímero. No obstante, a pesar de este hecho, al trabajar en el tiempo intermedio de proceso donde seguramente se logra el mejor equilibrio entre unión de partículas de rPET y difusión del zinc se obtienen valores que incluso en el caso del material con menor cantidad de metal están dentro del rango mencionado. Lo cual es un buen resultado considerando que la técnica empleada por no alcanzar el punto de fusión del polímero tiende a generar mayor presencia de porosidad aparente. De tal forma que al trabajar en 15 minutos se obtiene el mejor resultado.

Medición de la dureza shore D

Para realizar la medición de la dureza shore D, se empleó un durómetro mod. TH210 especial para materiales poliméricos, con el cual se obtiene el resultado por contacto directo del indentador con la muestra. El promedio obtenido de 10 mediciones por muestra, sirvió como base para trazar la gráfica de la figura 3.

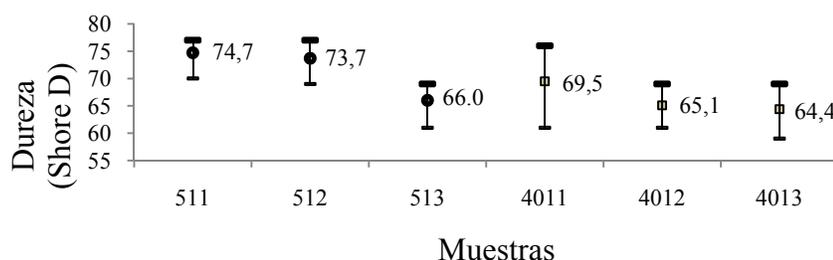


Fig. 3: Gráfica comparativa de los resultados de dureza.

Al comparar los resultados de ambas familias de materiales mostrados en la gráfica de la figura 3, se puede notar que la dureza está en función del contenido de metal presente en las muestras, ya que menor contenido implica mayor dureza en el material. Así mismo, conforme se incrementa el tiempo de proceso, la dureza descende en ambos materiales. Obteniendo valores que oscilan entre un 12 a 26% menores que los reportados por industrias JQ. (2011), los cuales son de entre 85 – 87 shore D. Esta disminución en la dureza puede estar relacionada con la porosidad aparente del material, que aunque es baja se aprecia en las micrografías por microscopía óptica mostradas en las figuras 6 y 7. Pues conforme se incrementa la carga de partículas metálicas, aunque exista mayor homogeneidad, la difusión en el zinc genera la presencia de espacios vacíos, los cuales provocan que la dureza decrezca. Además de que al incrementar el tiempo de proceso, los espacios vacíos se multiplican al difundirse el zinc en sí mismo, lo cual favorece aún más el decremento en la dureza.

Al comparar estos resultados, se puede ver que en dos de las tres propiedades analizadas, las muestras sinterizadas por 15 minutos generan los mejores resultados. Por lo que se escogerán las muestras PEZI 512 y PEZI 4012 para continuar el estudio.

Ensayo de compresión

Para este ensayo se ocuparon las probetas previamente preparadas en las dos concentraciones de estudio, con dimensiones de 10 mm de diámetro por 10 mm de altura, empleando la máquina universal para ensayos Monsanto, y aplicando una carga de 125 Kg. Los resultados se pueden observar en la gráfica de la figura 4.

Al observar las curvas correspondientes a las muestras PEZI512 y PEZI4012, se puede notar que a pesar de tener una resistencia a la compresión muy semejante el porcentaje de deformación que presentan hasta antes de la ruptura es diferente, esto debe estar provocado por el comportamiento del material polimérico que es más elástico que el metal, de tal forma que se puede apreciar una relación directa entre rigidez y contenido de zinc.

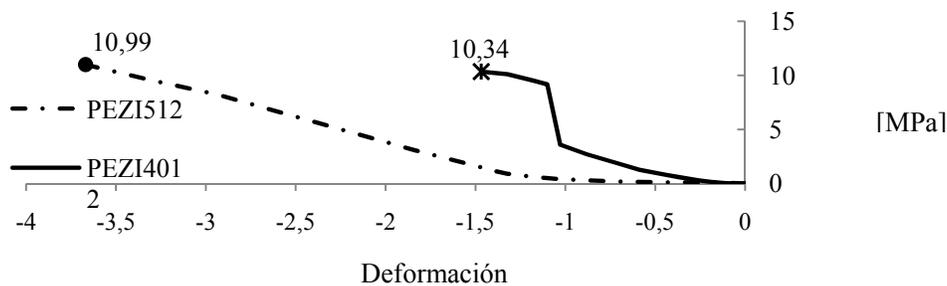


Fig. 4: Resistencia a la compresión de las muestras de estudio.

Ensayo de flexión

Para realizar el ensayo de flexión se ocuparon las probetas previamente fabricadas, las cuales se ensayaron en una máquina universal marca United, a una velocidad de 0.2 plg/min. De tal forma que los resultados sirvieron para graficar las curvas de la figura 5, donde se puede notar que el comportamiento de ambas curvas es similar y corresponde a un comportamiento propio de materiales frágiles. Éste comportamiento es debido a que la deformación plástica antes de la ruptura es prácticamente inexistente. Aunque este comportamiento similar al de los materiales cerámicos es de esperar por la técnica de producción basada en tecnología de polvos.

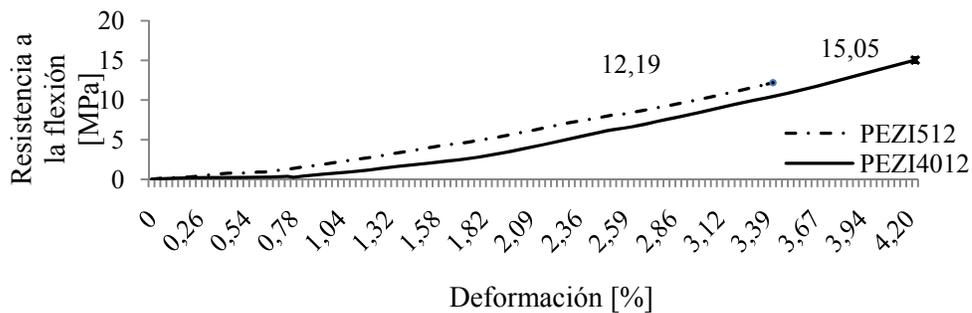


Fig. 5: Resistencia a la flexión en la muestra PEZI512 y PEZI4012

Así mismo, es de notar que conforme se aumenta el contenido de metal en la muestra, ésta tiende a incrementar su resistencia a la flexión y a soportar mayor deformación antes de la fractura, por lo que debido a este comportamiento se puede notar que las partículas de zinc ejercen su función de refuerzo, incrementando la resistencia del material.

Ensayo de impacto (IZOD)

Para realizar el ensayo de impacto se emplearon las probetas previamente preparadas con una dimensión de 10 X 10 X 70 mm, y se utilizó una máquina para ensayos de impacto IZOD, obteniéndose los siguientes resultados: Para la muestra PEZI5 de 9.24 [J/m], mientras que para la muestra PEZI40 de 11.09 [J/m]. De estos resultados se deduce que conforme se incrementa el contenido de metal reforzante, se incrementa la resistencia al impacto, en forma notoria.

Comparación de resistencia a la flexión e impacto

Se hizo una comparación entre las muestras PEZI512, PEZI4012 y el material testigo fabricado con PET reciclado sin metal, producido por la misma técnica y empleando las mismas condiciones de trabajo (tiempo – temperatura). De esta comparación se encontró que las muestras fabricadas con polvo de ambas composiciones presentan valores significativamente mayores, como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2: Comparación de muestras PEZI5 y PEZI40 con muestra testigo en flexión e impacto.

	0% de Zn	5% de Zn	40% de Zn
R. a la flexión [MPa]	8.6	12.19	15.05
R. al impacto [J/m]	8.08	9.24	11.09

De esta comparación se puede concluir que el metal ejerce una influencia favorable en el material y sobre todo en estas dos propiedades mecánicas. Donde la función del zinc es la de absorber energía debido a su característica dúctil, lo cual incrementa la resistencia del material sobre todo cuando el material está sometido a un esfuerzo que implique separación de partículas.

Microscopía óptica

Para observar la microestructura de las dos muestras de estudio, se obtuvieron las micrografías mostradas en las figuras 6 y 7 por medio de un microscopio óptico (Olympus PMG3, Japón) con una magnificación máxima de 1000X, registrándolas con una cámara Motic, adaptada al microscopio que funciona con el programa Motic Image Plus 2.0.

Al observar las micrografías 6 y 7, se puede apreciar baja presencia de porosidad aparente y una distribución homogénea de la fase dispersa en la mayor parte de los compactos. Sin embargo, existe cierta aglomeración en áreas puntuales que generan la presencia de zonas donde existe baja concentración de metal. Estas zonas pudieron afectar el fenómeno de absorción de agua del material, pero no fueron tan importantes como para afectar el comportamiento mecánico del mismo a juzgar por los resultados obtenidos sobre todo en el caso de flexión e impacto.

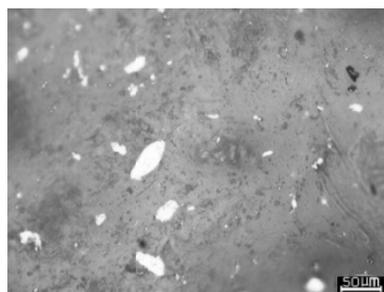


Fig. 6: PEZI512-200X

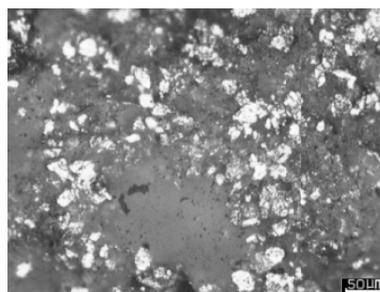


Fig. 7: PEZI4012-200X

Microscopía estereoscópica

Las imágenes obtenidas con el microscopio estereoscópico (Nikon, mod. SMZ800, Japón, 10X) se muestran a continuación en las figuras 8 y 9.

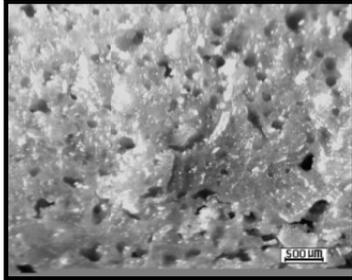


Fig. 8: Micrografía de PEZI512 – 10X

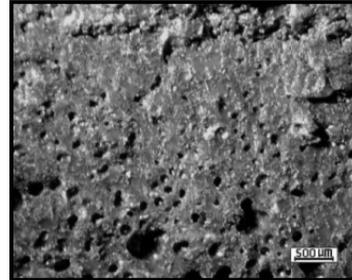


Fig. 9: Micrografía de PEZI4012 – 10X

En las micrografías de las figuras 8 y 9, correspondientes a superficies de fractura por flexión, se puede encontrar evidencia de un comportamiento frágil del material, ya que en ambas superficies se puede notar cierto brillo superficial que se genera precisamente en este tipo de fractura. Además de que no se produjo una deformación plástica al fracturarse, ya que ambas superficies coinciden perfectamente al ser unidas. De tal forma que el comportamiento de la resistencia a la flexión del material concuerda con el comportamiento microestructural, es decir que mientras más uniforme es la microestructura y menor cantidad de porosidad interna se presenta, la resistencia del material a la flexión es mayor.

Por otra parte la porosidad generada que se puede observar, tiende a la esfericidad sobre todo en el material con mayor contenido de zinc. La presencia de estos poros seguramente son el origen de las grietas que provocan la falla repentina del material cuando este se encuentra bajo la acción de esfuerzos, de ahí se comprende la poca o nula deformación plástica que se presentan en estos materiales durante los ensayos de flexión.

CONCLUSIONES

A través de la metodología propuesta se fabricaron de manera exitosa materiales compuestos ligeros, con buenas características físicas y mecánicas, mismos que fueron obtenidos a partir de PET reciclado reforzado con partículas de zinc. Del comportamiento físico y mecánico de estos materiales se puede decir que al trabajar a cierta temperatura (256°C), en la superficie se generan uniones fuertes entre las partículas de polímero, mientras que la difusión entre las partículas de metal puede generar la presencia de cierta porosidad superficial, la cual pudo ser observada en las micrografías obtenidas por microscopía óptica. Aunque esta porosidad también se da en el cuerpo de la muestra, no obstante resulta ser menor al aumentar el contenido de partículas metálicas como se pudo observar en las micrografías obtenidas por microscopía estereoscópica, debido a la mayor densidad del metal, a la diferencia en el punto de fusión, y sobre todo al coeficiente de conductividad térmica muy superior en el metal. De tal forma que la superficie al recibir directamente el calor de la mufla después de cierto tiempo de proceso y sin exceder el ideal, tiende a uniformizarse generando sobre todo en el material con menor contenido de metal una capa protectora que limita la absorción de agua. A la vez que esta unión interparticular superficial del polímero da origen a una matriz más homogénea que incrementa la dureza

Así mismo, acorde a las micrografías obtenidas por estereoscopia, se puede hablar de un comportamiento frágil, es decir se trata de un material rígido, el cual puede soportar esfuerzos de flexión e impacto con ayuda de las partículas metálicas que por ser más dúctiles que la matriz polimérica absorbe mejor la energía generada durante la aplicación de la carga, lo cual no ocurre cuando se comprime el material, ya que la carga es absorbida principalmente por el polímero.

De tal forma que acorde con estos resultados se puede decir que el metal favorece el comportamiento del material, incrementando la resistencia del mismo, por lo que aquel que tiene el mayor contenido de zinc es el que ofrece el mejor comportamiento mecánico y microestructural.

REFERENCIAS

1. Ahmad, I.; Mosadeghzad, Z.; Daik, R.; Ramli, A. (2008); *The effect of alkali treatment and filler size on the properties of sawdust/UPR composites based on recycled PET wastes*. Journal of Applied Polymer Science: 109, 3651-3658.
2. Arias, A.; Zaera, R.; López-puente, J.; Navarro C. (2004); *Fabricación y caracterización mecánica de un material compuesto de matriz polimérica y carga cerámica*. Bol Soc. Esp. Ceram. V: 43(2), 401-405.
3. CONCAMIN-Confederación de Cámaras Industriales; Universidad Autónoma Metropolitana (2008); *Poco aprovechado el negocio de reciclado de botellas PET*. Énfasis Packaging online <http://www.packaging.enfasis.com/notas/10643-Poco-aprovechado-negocio-de-reciclado-de-botellas-PET> (Consultado: 27-10-11)
4. Cook, D. G.; Leidner, J. (2003); *Composition for extruded pencil casings, and pencil casings and pencils made therefrom*. Patente con número de aplicación 20030022962; 2003-01-30.
5. Daisuke, M.; Chihiro, A.; Yuichi, A.; Noboru, K.; Yoshio, K.; Yoji, K. (2005); *Binder for pavement and its manufacturing method*. Patente con número de aplicación JP2004007595620040317; 2005-09-29
6. DQO-UV, Departamento de química orgánica. (2011); *Propiedades y características del PET*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid. http://www.eis.uva.es/%7Emacromol/curso05-06/pet/propiedades_y_caracteristicas.htm (Consultado. 27-10-11)
7. González, P.I.; May, L.H.; Carrillo, J.G. (2004); *Polypropylene composites unidirectionally reinforced with polyester fibers*. Journal of Composite Materials: 38(17), 1521-1532.
8. IMPI-Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2000): *Enciclopedia del plástico*, tomo 1; pp. 128
9. Industrias JQ. (2011); *Plásticos de Ingeniería*. <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm> (Consultado: 27-10-11)
10. Kalpakjian, S.; Schmid, S. R. (2008); *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Ed. Prentice Hall, 5º edición, pp. 191-192
11. Kračalić, M.; Pospíšil, L.; Louf, M.; Mikesová, J.; Sikora, A.; Imonić, J.; Fortelny, I. (2008); *Recycled poly(ethylene terephthalate) reinforced with basalt fibres: rheology, structure, and utility properties*. Journal of Polymer Composite: 29, 437-442.
12. Lustiger, A.; Vallentage, J. (2006); *Fiber reinforced polypropylene composite body panels*. Patente con número de publicación WO2006124363 (A2); 2006-11-23.
13. Machovic, V.; Andertova, J.; Kopechy, L.; Cemy, M.; Borecka, L.; Pribyl, O.; Kolar, F.; Svitilova, J. (2008); *Effect of aging of PET Fibre on the mechanical properties of PET Fibre reinforced cement composite*. Journal of Ceramics-Silikaty: 52(3), 172-182.
14. MaTeCK's. (2006); *Periodic Table of the Elements*. Germany (<http://www.mateck.de/>).

15. Navia, R.; Rubilar, O.; Diez, M.C.; Schmidt, K.; Behrendt, G.; Lorber; K.E. (2007); *Improving the adsorption capacity and solid structure of natural volcanic soil using a foaming-sintering process based on recycled polyethylene terephthalate (PET)*. Journal of Waste Management & Research: 25(2), 119-129.
16. Rebeiz, K.S.; Fowler, D.W. (1994); *Flexural properties of reinforced polyester concrete made with recycled PET*. Journal of Reinforced Plastics and Composites: 13(10), 895-907.
17. Rezaeian, I.; Jafari, S.H.; Zahedi, P.; Nouri, S. (2009); *An investigation on the rheology, morphology, thermal and mechanical properties of recycled poly (ethylene terephthalate) reinforced with modified short glass fibers*. Journal of Polymer Composite: 30, 993-999.
18. Rubio, A.J. (2005); *Diseño de una máquina recicladora para procesar los desechos plásticos en las zonas urbanas*. SEPI, Zacatenco; http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/2560/1/453_2005_ESIME-ZAC_MAESTRIA_tesis_70.pdf (Consultado: 27-10-11)
19. Saikrasun, S.; Limpisawasdi, P.; Amornsakchai, T. (2009); *Comparative study on phase and properties between rPET/PS and LCP/PS in situ microfibrillar-reinforced composites*. Journal of Polymer Resistance: 16, 443-454.
20. Sanchez, A.; Manero, O. (2006); *Nanocompuestos de pet, una alternative de reciclado*. Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/nanocompuestos_PET_reciclado_gdf.pdf (Consultado: 27-10-11)
21. Shiuan-Hua, S.; Cheng-Yung, K.; Chie, C.L.; Chung-Hung, L. (2007); *Enhancement of conductivity for poly(ethylene terephthalate) matriz reinforced with carbon nanotubes*. Japanese Journal of Applied Physics: 46(9B), 6335-6338.
22. TET-The Engineering Toolbox (2010); *Coefficients of linear expansion*. http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html (Consultado: 1-07-10)
23. Wang, S.H.; Hou, W.S.; Wei, L.Q.; Dai, J.M.; Jia, H.S.; Liu, X.G.; Xu, B.S. (2009); *Structure and properties of composite antibacterial PET fibers*. Journal of Applied Polymer Science: 112(4), 1927-1932.
24. Zhang, L. (2008); *Poly(ethylene terephthalate)/hydroxyapatite biomaterials: Preparation, characterization, and in vitro bioactivity*. Journal Sen-i gaakkaishi: 64(12), 372-377.
25. Zhenguo, L.; Xiaoyan, H. (2008); *Opaque containers containing colored recycled polyester*. Patente con número de aplicación WO2007US7638320070821; 2008-03-06