

# Material Compuestos de Resina Poliéster y la Fracción no Metálica de Tarjetas de Circuitos Impresos

Loyo Carlos<sup>1</sup>; Arroyo Carla<sup>1</sup>; Cadena Francisco<sup>1</sup>; Aldás Miguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador

---

**Resumen:** Las tarjetas de circuitos impresos (PCBs) son la parte fundamental de todos los equipos electrónicos y constituyen una mezcla compleja de componentes. Este estudio tuvo el propósito de incorporar la fracción no metálica (FNM) de las PCBs en una matriz de resina poliéster insaturada (RPI), para obtener materiales compuestos RPI/FNM, y en consecuencia, reutilizar la FNM de las PCBs, disminuir la contaminación ambiental de las mismas y el costo de materia prima mediante la obtención de un material con características similares a la resina pura. Se formularon materiales con 20, 30 y 35% en peso de FNM, con dos tamaños de partícula: 0,15-0,075 mm y <0,075 mm. Se realizaron pruebas mecánicas de tracción, flexión y abrasión para determinar el efecto que produce la incorporación de los residuos (FNM). Además, se realizó una prueba de TCLP y MEB, para caracterizar los materiales compuestos. Los materiales compuestos formados con 30 y 35% de residuos de tamaño <0,075 mm presentaron la mayor deformación al pico. Todos los materiales formulados presentan disminución en el esfuerzo a la ruptura en comparación al material puro. Los materiales que contenían 35% de residuos de tamaño <0,075mm presentan el valor más alto de esfuerzo a la rotura y la mayor resistencia al esfuerzo de flexión. El módulo de flexión y de tracción no varió significativamente con la incorporación de los residuos. En cuanto a la abrasión, la incorporación de los residuos provocó menor desgaste de la superficie expuesta al ensayo, mejorando la resistencia a la abrasión.

**Palabras clave:** Materiales compuestos, tarjetas de circuitos impresos, resina poliéster insaturada, residuos electrónicos, fracción no metálica, reciclaje.

## Composite Materials of Polyester Resin and Non- Metallic Fraction of Printed Circuit Boards

**Abstract:** Printed circuit boards (PCBs) are the fundamental part of all electronic equipment and they are a complex mixture of components like epoxy resin, fiberglass and metals. The aim of this study was to incorporate the non-metallic fraction (NMF) of PCBs in polyester resin composites in order to reuse the NMF, reduce the environmental impact, and decrease production costs by obtaining a composite material with similar properties of polyester resin. Composites with 20, 25 and 35% and two particle sizes 0,15-0,075 mm and <0,075 mm were formulated. Tensile, flexural and abrasion tests were conducted to determine the effect of the NMF incorporation. Moreover, a TCLP test and SEM were conducted in order to characterize the material. The stress at pick of composites with 30 and 35% and particle size <0,075 mm of residues showed the highest value. All materials exhibit a decrease of values of tensile properties compared with pure material. However, composites that contained 35% of NMF and particle size <0,075mm have the highest stress at pick value (17,36 Mpa). Likewise, this composite presented the highest resistance to flexural stress (58,50 MPa), which represents an increase of 0,5% compared with the pure material. The flexural and tension modulus did not vary significantly with incorporation of NMF. Addition of NMF caused less wastage on the surface exposed to abrasion: the lowest value of weight loss was presented by composites with 35% of particle size <0,075 mm which showed a decrease of 42.85% in weight with reference to the pure material.

**Keywords:** Composite, printed circuit boards, unsaturated polyester resin, electronic waste, non-metallic fraction, recycling.

---

### 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos de aparatos electrónicos son parte de los residuos sólidos que se generan en el mundo, debido a que

éstos (como celulares y computadoras) se renuevan en un tiempo corto de 3 a 5 años. Las Naciones Unidas estiman que entre 20 y 50 millones de toneladas de basura proveniente de residuos eléctricos y electrónicos (o basura electrónica) se producen alrededor del mundo cada año. Esto representa representara más del 5 % de toda la basura municipal

---

miguel.aldas@epn.edu.ec

(Cobbing, 2008). Estos residuos requieren de un tratamiento adecuado porque si se los desecha producen un gran impacto ambiental debido a sus componentes como por ejemplo los metales pesados, retardantes a la llama bromados, entre otros (Román, 2014).

Las placas de circuitos impresos son la plataforma sobre la cual los elementos microelectrónicos son colocados, proporcionan las interconexiones eléctricas entre sus componentes, se encuentran en prácticamente todos los aparatos eléctricos y electrónicos. Estas placas son una mezcla compleja de fibra de vidrio, resina polimérica y metales. Debido a esto y sus características hacen que su separación y reciclaje se dificulte (LaDou, 2006).

El reciclaje de estas placas consiste en la recuperación de la fracción metálica y la fracción no metálica. Esta última corresponde entre el 70 % y 80 % del peso total de las placas. Esta fracción no metálica está comprendida por fibra de vidrio (65 %), resina epóxica (32 %), impurezas (cobre: <3 %, soldadura <0,1 %) y retardantes a la llama bromados (Guo et al., 2009)

La disposición y recuperación de la fracción no metálica de los residuos de los aparatos electrónicos tiene un alto impacto ambiental debido a su contenido de sustancias peligrosas como retardantes a la llama, cadmio y plomo, lo cual implica un alto costo de producción (Wager et al., 2011)

Existen varias técnicas de reciclaje de la fracción no metálica de las tarjetas de circuitos impresos, como el reciclaje químico, que consiste en la descomposición de los polímeros en sus monómeros o compuestos químicos, y el reciclaje físico, el cual combina la fracción no metálica con diferentes materiales los cuales pueden ser plásticos, concreto o materiales viscoelásticos, formando un material compuesto y mejorando las propiedades de la matriz utilizada como resistencia, tracción, durabilidad y permeabilidad (Guo et al., 2008).

Por otro lado, las resinas poliéster insaturadas son producto de la policondensación de ácidos saturados e insaturados con un diol. Tienen gran aplicación en la industria ya que al curar se vuelven sólidos termoestables, que pueden utilizarse en forma pura, con cargas o como material reforzado, esto debido a su bajo costo, fácil procesamiento, buena resistencia química y buenas propiedades mecánicas. Por ejemplo la resina poliéster puede ser reforzada incluso con fibra de coco mejorando sus propiedades mecánicas con un 20 % de fibras. (Delgado et al., 2014; Deli et al., 2013).

Por estos motivos, el objetivo principal del presente proyecto es incorporar la fracción no metálica de las tarjetas de circuitos impresos en una matriz de resina poliéster insaturada con el fin de producir un material compuesto que presente mejores o similares propiedades mecánicas (tracción flexión y abrasión) que el material de resina poliéster puro; además de caracterizar al material mediante pruebas de TCLP (Procedimiento para determinar las Características de Toxicidad del Lixiviado por sus siglas en inglés) y MEB (Microscopía Electrónica de Barrido) .

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Los reactivos utilizados fueron: resina poliéster insaturada, octoato de cobalto y peróxido de metil-etil-cetona. Se utilizó la fracción no metálica (FNM) de las tarjetas de circuitos impresos para la formación de los materiales compuestos. Se obtuvieron previamente las FNM de tamaños de partícula: 0,15-0,075 mm y <0,075 mm.

### 2.2 Producción de los materiales compuestos de resina poliéster y FNM de tarjetas de circuitos impresos.

Inicialmente fue extraída la fracción no metálica de las tarjetas de circuitos impresos, esto se realizó mediante un proceso de molienda y de separación gravimétrica utilizando un molino de martillos y una mesa de separación gravimétrica respectivamente. Utilizando un tamiz se separó la FNM obtenida en dos tamaños: 0,15-0,075 mm y <0,075 mm.

Para la elaboración de los materiales compuestos se colocó resina poliéster insaturada en un envase plástico, a este se añadió 2 % de peróxido de metil-etil-cetona y 1 % de catalizador octoato de cobalto, se agitó durante 15 segundos y se añadió inmediatamente la fracción no metálica. La mezcla fue colocada en moldes de tamaños correspondientes a los ensayos mecánicos a realizarse.

Se formularon materiales con 20, 30 y 35 % de carga con los dos tamaños de partícula mencionados, es decir, se obtuvieron un total de 6 tipos de materiales compuestos a los cuales se midieron sus propiedades mecánicas de tracción, flexión y abrasión.

### 2.3 Ensayos de tracción

Los ensayos de tracción fueron llevados a cabo en una máquina universal de ensayos marca INSTRON modelo 1011 bajo la norma ASTM D3039 “Método de prueba estándar para propiedades de tracción para materiales compuestos con matriz polimérica”. Las probetas utilizadas tuvieron forma rectangular de 1 cm de ancho, 14 cm de largo y 0,3 cm de espesor (ASTM D3039, 2008).

Se realizaron los ensayos de tracción sobre un total de 10 probetas tanto para la muestra sin carga así como para cada concentración y tamaño de partícula formulado inicialmente. Los resultados obtenidos fueron de deformación al pico, esfuerzo al pico y módulo de Young.

### 2.4 Ensayos de flexión

Los ensayos de flexión se realizaron en la máquina universal de ensayos marca INSTRON modelo 1011 bajo a norma ASTM D7264 “Método de pruebas estándar para propiedades de flexión para materiales compuestos con matriz polimérica”, las probetas tuvieron la misma forma y dimensiones utilizadas en los ensayos de tracción (ASTM D7264, 2007).

Al igual que en los ensayos de tracción, se realizaron los ensayos de flexión sobre 10 probetas tanto para la muestra sin carga como para cada concentración y tamaño de partícula formulado inicialmente. Los resultados obtenidos fueron de deformación al pico, esfuerzo al pico y módulo de flexión.

### 2.5 Ensayos de abrasión

Los ensayos de abrasión se realizaron en un abrasímetro rotatorio marca Taber modelo 5130, bajo la norma ASTM G195 "Guía estándar para la realización de pruebas de desgaste utilizando un abrasímetro rotatorio" (ASTM G195, 2013).

Se ensayaron 3 probetas tanto para la muestra sin carga como para cada concentración y tamaño de partícula formulado inicialmente. Las probetas fueron placas cuadradas de 10 cm por lado.

### 2.6 Análisis de determinación de toxicidad de lixiviados (TCLP)

Se realizó el análisis TCLP para el material compuesto de resina poliéster insaturada y 35 % de la fracción no metálica de tarjetas de circuitos impresos. Para esto se tomaron 10 g de muestra representativa, se colocó la muestra en un vaso de precipitación, se añadieron 200 mL de agua destilada y 0,5 mL de ácido acético ya que el análisis se lleva a cabo a pH 4, y se dejó en agitación por 21 horas. Este análisis se lo realizó siguiendo el método 1311 de la EPA (EPA, 1992).

Los resultados obtenidos en el presente proyecto fueron comparados con los resultados obtenidos por LaDou (2006) con el fin de evaluar el encapsulamiento de los residuos en la matriz de resina poliéster insaturada.

### 2.7 Microscopía electrónica de barrido

El material que presentó los mayores valores en cuanto a propiedades mecánicas fue analizado mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) con el equipo Tescan con analizador de Rayos X Quantax. El material fue cortado para obtener una superficie plana y revestido de oro para aumentar su conductividad, mejorando así la imagen visualizada en el microscopio. Los parámetros utilizados fueron los siguientes: 10kV de voltaje de aceleración, tipo de señal electrones secundarios y 300X, 500X, 1 000X y 2 000X aumentos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Producción de los materiales compuestos de resina poliéster y FNM de tarjetas de circuitos impresos.

Después de la separación gravimétrica se determinó que las tarjetas de circuitos impresos están compuestas aproximadamente por 67 % de fracción no metálica, lo cual implica que el componente mayoritario de las tarjetas son componentes no metálicos que pueden ser resinas o fibra de vidrio.

En cuanto a la producción de los materiales compuestos, se tuvieron complicaciones al tratar de incorporar la fracción no metálica con mayor tamaño, es decir 0,15-0,075 mm, principalmente en los materiales con 30 y 35 %. Esto se debe principalmente a que por la alta viscosidad de la mezcla con la resina poliéster, no se logró obtener un material uniforme ocasionando superficies irregulares en la parte superior de las placas.

En los materiales formados con 20 % del material de tamaño 0,15-0,075 mm y todos los materiales compuestos con tamaño <0,075 mm, se obtuvo una buena dispersión y distribución de la carga dentro de la matriz de resina poliéster.

### 3.2 Ensayos de tracción

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la deformación al pico en los ensayos de tracción. Se puede observar una disminución de la deformación al pico del material compuesto con residuos de tamaño de partícula 0,15-0,075 mm con respecto al material puro. Para el material compuesto con residuos de tamaño de partícula <0,075 mm se observa un aumento de la deformación en relación al material puro cuando se incorporó 30 y 35 % de residuos. La desviación estándar de los resultados obtenidos se pudo generar a causa de ciertos errores sistemáticos en la obtención de los datos debido principalmente al equipo utilizado.

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos de esfuerzo al pico en los materiales compuestos reforzados con los residuos de tarjetas de circuitos impresos. Se puede observar que los menores esfuerzos se obtienen para los materiales compuestos por residuos de tamaño 0,15-0,075 mm. Esto se debe principalmente a la alta viscosidad de que presentaron los materiales formados con este tamaño de residuos, especialmente los de mayor concentración (30 y 35 %). Esta alta viscosidad produjo superficies irregulares que ocasionaron puntos de falla en los ensayos de tracción.

Para los materiales compuestos con residuos de tamaño <0,075 mm se observaron los mayores valores de esfuerzo al pico, respecto a los demás materiales compuestos obtenidos.

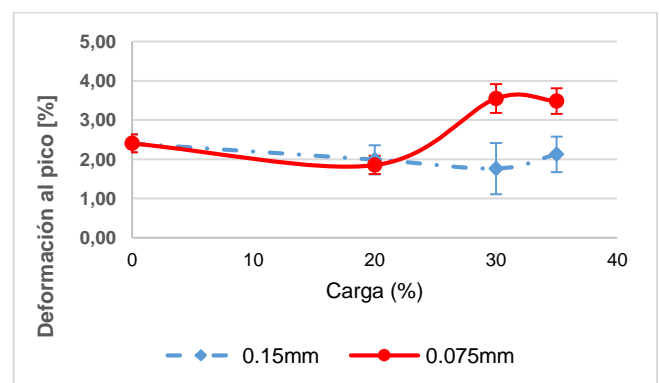
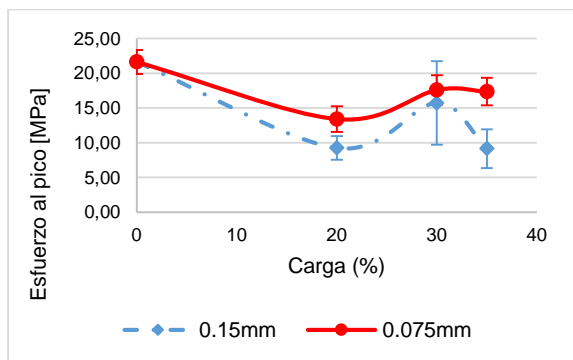


Figura 1. Resultados de deformación al pico en función de la concentración de carga en ensayos de tracción



**Figura 2.** Resultados de esfuerzo al pico en función de la concentración de carga en ensayos de tracción

Sin embargo, estos resultados no superaron el esfuerzo al pico soportado por el material puro, es decir, no se logró reforzar el material en cuanto a ensayos de tracción. Pese a haber obtenido mayores valores en cuanto al esfuerzo al pico para los materiales compuestos de resina poliéster, este esfuerzo es similar al del material puro, por lo cual se puede indicar que el material compuesto con 35 % de residuos de tamaño de partícula  $<0,075$  mm tiene propiedades similares a las del material puro.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos del módulo de Young de los materiales compuestos formulados. Se puede observar que el módulo de Young aumenta en los materiales compuestos que presentaron menores valores de deformación al pico lo cual se debe a que estos dos parámetros son inversamente proporcionales. Como se observó el esfuerzo de los materiales compuestos disminuye en todos los casos en comparación con el material puro por lo cual el módulo de Young también disminuye para estos mismos materiales compuestos, debido a la relación directamente proporcional que existe entre estos dos parámetros.

### 3.3 Ensayos de flexión

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos de deformación al pico en los ensayos de flexión. Se puede observar que la deformación al pico disminuyó para todos los materiales compuestos formulados en los ensayos de flexión, a excepción de material que contenía 20 % de residuos de tamaño  $<0,075$  mm.

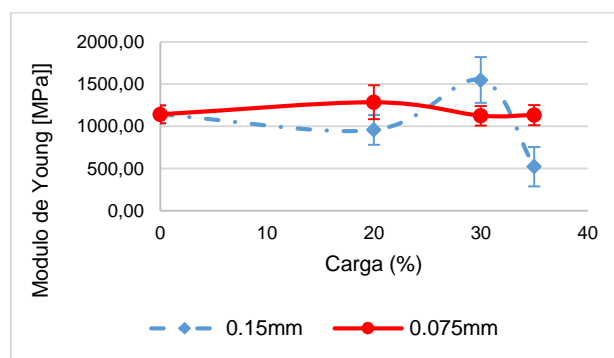
Esta disminución de la deformación de los materiales que contiene residuos se debe principalmente a que el componente principal de la fracción no metálica de las tarjetas de circuitos impresos es la fibra de vidrio y esta tiene una deformación menor que la de la resina poliéster insaturada.

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos de esfuerzo al pico de los materiales compuestos en los ensayos de flexión. Se puede observar que el esfuerzo al pico soportado por los materiales compuestos de resina poliéster insaturada disminuyó en relación al material puro. Sin embargo, se puede observar que el material compuesto que contenía 35 % de residuos de tamaño  $<0,075$  mm presenta el valor más alto de esfuerzo al pico de los materiales

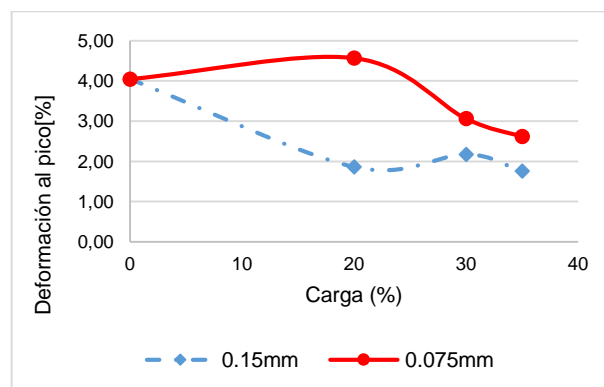
compuestos y tan solo un 0,5 % menor al valor de esfuerzo al pico presentado por el material puro. Es decir, este material compuesto presenta similares propiedades en cuanto a flexión que el material puro.

De acuerdo a estudios realizados por (Zheng et al., 2009), cuando se utiliza residuos con tamaño menor a 0,105 mm, la fibra de vidrio se encuentra liberada incrementando el área de contacto entre los residuos y la matriz, lo cual beneficia la transferencia del esfuerzo de flexión desde la matriz hacia las partículas que lo refuerzan, es por esta razón que los materiales compuestos mantuvieron sus propiedades mecánicas con respecto al material puro.

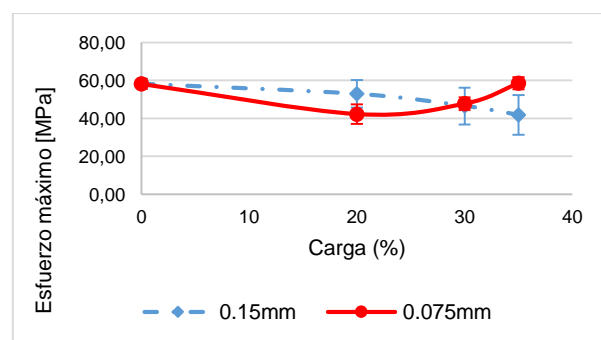
En la Figura 6 se presentan los resultados del módulo de flexión para cada material compuesto formulado. Se puede observar que el módulo de flexión incrementa su valor en comparación con el material puro de resina poliéster insaturada.



**Figura 3.** Resultados del módulo de Young en función de la concentración de carga en ensayos de tracción



**Figura 4.** Resultados de deformación al pico en función de la concentración de carga en ensayos de flexión



**Figura 5.** Resultados de esfuerzo al pico en función de la concentración de carga en ensayos de flexión

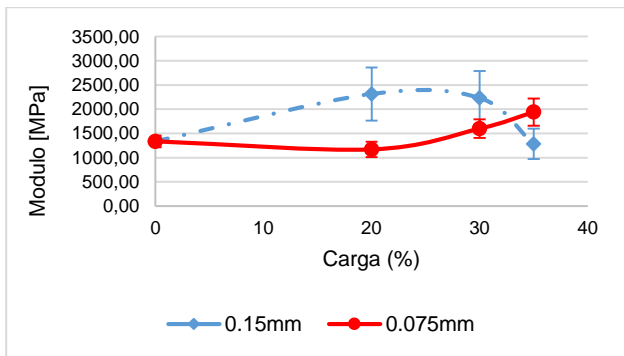


Figura 6. Resultados del módulo de flexión en función de la concentración de carga en ensayos de flexión

Los materiales compuestos que presentan mayores módulos de flexión son aquellos que presentaban mayores valores de resistencia al esfuerzo como es el caso del material compuesto con tamaño de partícula <0,075 mm y 35 % de residuos.

### 3.4 Ensayos de abrasión

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los tres ensayos realizados de abrasión para cada material compuesto de resina poliéster insaturadas y la fracción no metálica de las PCBs y sus respectivos promedios.

Los resultados obtenidos en los ensayos de abrasión demuestran un mejoramiento de la resistencia a la abrasión de los materiales compuestos con respecto al material puro. Como se puede observar en la Tabla 1 el promedio de la diferencia de pesos después de que las placas fueron expuestas a la abrasión disminuyó para los materiales compuestos. Los materiales que presentaron los menores valores de diferencia de peso fueron los que contenía los residuos de mayor tamaño, siendo el material que contenía 25 % el que presentó el menor valor.

El material que presentó el menor valor de diferencia de peso de los materiales compuestos con residuos de tamaño <0,075 mm fue el que contenía 35 % de residuos, el mismo que presentó propiedades de tracción y flexión similares a las del material sin carga.

### 3.5 Análisis de determinación de toxicidad de lixiviados (TCLP)

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del análisis de toxicidad de lixiviados para el material compuesto por resina poliéster y 35 % de residuos de tamaño <0,075 mm. En la Tabla 2, también se pueden observar los valores máximos los cuales corresponden a la concentración de lixiviados de los residuos puros (FNM) de tamaño <0,075 mm obtenidas en trabajos anteriores (Loyo et al., 2015). Como se puede observar la concentración de todos los elementos analizados es menor con respecto a los valores máximos. Además, se observa que el plomo no excede los parámetros máximos permisibles (que es de 0,2 mg/L según la norma técnica de suelo de la ordenanza metropolitana) de lixiviación en el material compuesto.

Tabla 1. Resultados de ensayos de abrasión

Carga (%)	Tamaño de partícula	Diferencia de peso			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
Sin carga		0,0283	0,0251	0,0265	0,0266
25 %	0,15 mm	0,0116	0,0176	0,0143	0,0145
30 %		0,0300	0,0227	0,0237	0,0255
35 %		0,0145	0,0171	0,0129	0,0148
25 %	0,075 mm	0,0225	0,0255	0,0254	0,0245
30 %		0,0185	0,0191	0,0168	0,0186
35 %		0,0165	0,0143	0,0147	0,0152

Tabla 2. Resultados del análisis de toxicidad de lixiviados del material compuesto de resina poliéster

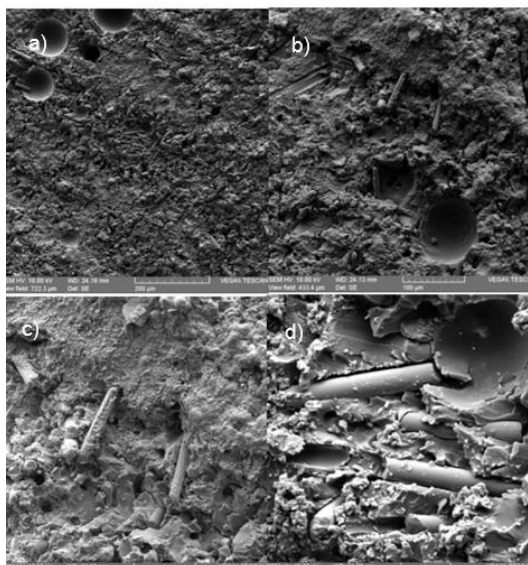
Elemento	Material compuesto de resina y 35 % de carga	
	Concentración (mg/L)	
	Valor máximo del residuo	Valor obtenido
Zinc	1,33	0,01
Cobre	13,38	0,06
Plomo	9,80	0,11
Cobalto	0,00	0,01
Plata	0,01	0,01
Níquel	0,08	0,03
Cromo	<0,01	<0,01
Cadmio	<0,01	<0,01
Bario	<0,1	<0,1
Arsénico	<0,1	<0,1
Mercurio	<0,1	<0,1
Selenio	<0,1	<0,1

### 3.6 Microscopía electrónica de barrido

En la Figura 7 se puede observar los resultados de la microscopía electrónica de barrido del material compuesto por resina poliéster y 35 % de residuos de tamaño <0,075 mm.

En la Figura 7 se puede observar la presencia de formas tubulares que corresponde a la fibra de vidrio uno de los mayores componentes de la fracción no metálica, la misma que se encuentra incrustada en la matriz del material compuesto. En la Figura 7a) y Figura 7b) se observan pequeños agujeros de un tamaño de 0,08 mm aproximadamente lo cual se debe a la adhesión interfacial débil que existe entre la resina poliéster insaturada y los residuos.

Estos agujeros no son visibles al momento en que se producen los materiales compuestos ya que se forman en el interior de los mismos, (Guo et al., 2008). En la Figura 7c) y Figura 7d) con mayores aumentos se observan una mala adherencia entre las fibras y la matriz. Tanto los agujeros como la mala adhesión influyen en la disminución de las propiedades mecánicas como se detalló en la sección 3.2 y 3.3



**Figura 7.** Imagen del material compuesto de resina poliéster insaturada con 35% de residuos y tamaño de partícula  $<0,075\text{ mm}$  a) 300 aumentos, b) 500 aumentos, c) 1 000 aumentos y d) 2 000 aumentos

#### 4. CONCLUSIONES

Los materiales formados con residuos de tamaño  $<0,075\text{ mm}$  se acoplaron mejor a la matriz de resina poliéster que los residuos de mayor tamaño.

Los materiales compuestos de resina poliéster instaurada y residuos de tamaño  $<0,075\text{ mm}$  fueron los que presentaron los valores más altos en cuanto a propiedades de tracción y flexión.

Los materiales compuestos formados con residuos de tamaño  $0,15\text{-}0,075\text{ mm}$  fueron los que presentaron la menor pérdida de peso en los ensayos de abrasión.

El material compuesto por 35 % de residuos de tamaño  $<0,075\text{ mm}$ , en general, fue el que presentó las propiedades mecánicas más altas entre los materiales compuestos. Además, presentó resultados similares a los del material puro.

La producción del material compuesto por 35 % de residuos de tamaño  $<0,075\text{ mm}$  es un proceso factible de reciclaje de la fracción no metálica de PCBs (tarjetas de circuitos impresos)

Mediante el análisis de toxicidad de lixiviados se comprobó el encapsulamiento de los residuos dentro de la matriz de resina poliéster insaturada, ya que las concentraciones de lixiviados disminuyeron significativamente con respecto al material puro.

No se logró reforzar el material compuesto (mejorar las propiedades mecánicas) debido principalmente a la formación de pequeñas burbujas microscópicas y a la mala adhesión de los residuos con la matriz de resina poliéster.

Al incorporar la FNM (fracción no metálica) de las PCBs en una matriz de resina poliéster insaturada, existe la posibilidad de reducir costos de producción asociados a la disminución

de materia prima (resina poliéster insaturada), Además, se puede disminuir la contaminación ambiental causada por estos residuos eléctricos y electrónicos.

#### AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional, por el financiamiento de la investigación, a través de los fondos del Proyecto Semilla PIS 14-17.

#### REFERENCIAS

- ASTM D3039. (2008). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. Estados Unidos.
- ASTM D7264. (2007). *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. Estados Unidos.
- ASTM G195. (2013). *Standard Guide for Conducting Wear Tests Using a Rotary Platform Abraser*. Estados Unidos.
- Cobbing, M. (2008). Toxic Tech: Not in our backyard, Uncovering the Hidden Flows of e-Waste. *Greenpeace*. Obtenido de: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2008/2/not-in-our-backyard-summary.pdf> (Diciembre, 2015)
- Delgado, F., Galeas, S. y Guerrero, V. (2014). Obtención de Materiales Compuestos Híbridos de Matriz Poliéster Reforzada con Fibras de Coco y Vidrio para la Elaboración de Tableros. *Revista Politécnica*. 33 (1). Obtenido de: [http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/87/pdf](http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/87/pdf). (Septiembre, 2015)
- Deli, D., Ebdon, J., Kandola, K. y Krishman. L. (2013). Blends of Unsaturated Polyester and Phenolic Resins for Applications as Fire-resistant Matrices in Fible-reinforced Composites. Part 1: Identifying Compatible, Co-curable Resin Mixtures. *Journal of Materials Science*, 48(20), 6929–6942.
- EPA. (1992). Method 1311: Toxicity Characteristics Leaching Procedure, Obtenido de <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/1311.pdf>. (Julio, 2013).
- Guo, J., Guo, J. y Xu, Z. (2009). Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 567-590.
- Guo, J., Li, J., Rao, Q. y Zu, Z. (2008). Phenolic Molding Compound Filled with Nonmetals of Waste PCBs. *Environmental Science & Technology*, 42(2), 624-628.
- LaDou, J. (2006). Printed circuit board industry. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209(3), 211-219.
- Loyo, C., Arroyo, C., Aldás, M. y Montero, R. (2015). Extracción y caracterización de la fracción no metálica de las tarjetas de circuitos impresos de computadoras desechadas. *Revista Politécnica*. 36 (2), 67-72.
- Román, I. (2014). *eWaste en América Latina: El aporte de los operadores móviles en la reducción de la basura electrónica* 1(1), 1-44. Obtenido de: <http://www.gsma.com/latinamerica/wpcontent/uploads/2014/05/eWaste-Latam-spa-Completo.pdf> (Julio, 2015).
- Wager, P. A., Schlupe, M., Muller, E. y Gloor, R. (2011). RoHS regulated Substances in Mixed Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 628-635.
- Zheng, Y., Shen, Z., Cai, C., Ma, S. y Xing, Y. (2009). The reuse of nonmetals recycled from waste printed circuit boards as reinforcing fillers in the polypropylene composites. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2-3), 600-606.