

# Análisis microscópico para un material compuesto de productos reciclados

Jesús Vicente **González-Sosa**  
Arturo **Barba-Pingarrón**  
Elizabeth **Flores-Aguilar**

Universidad Nacional Autónoma de México,  
Posgrado de Ingeniería,  
Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA), UNAM.  
Edificio Bernardo Quintana, 2º piso, Circuito Exterior s/n,  
Ciudad Universitaria, CP 04510, México, DF.  
MÉXICO.

correo electrónico (email): [jesus.gonzalez@comunidad.unam.mx](mailto:jesus.gonzalez@comunidad.unam.mx)

Recibido 24-11-2011, aceptado 29-03-2012.

## Resumen

En el presente documento se observan las primeras etapas en el desarrollo de materiales compuestos con productos reciclados de plástico y madera, con la principal característica de ser extraídos directamente de productos posconsumo. Además, es necesario hacer incapié que las nuevas tecnologías han permitido el desarrollo de estos nuevos materiales compuestos que en un futuro pasarán a formar parte fundamental de los materiales de ingeniería, con características y propiedades mecánicas óptimas que se pueden evaluar con los métodos convencionales para tratar los materiales comunes. Por último, es de gran satisfacción aportar nuevas formas de recuperar los productos ya utilizados y darles una aplicación determinada y sobre todo con funcionalidad. En los siguientes párrafos se encuentra a detalle lo explicado brevemente en este artículo, cuya finalidad es fortalecer la investigación cada vez profunda en los materiales de esta índole.

**Palabras clave:** compuestos, reciclados, composición, microscopía, óptico, propiedades, criba, impacto, dureza, tracción, concentración, índice de fluidez.

**Abstract**  
**(Microscopic Analysis for a Composite Material of Recycled Products)**

This document can be seen early in the development of composite materials with recycled plastic and wood, with

the main feature to be extracted directly from postconsumer products. It is also necessary to that new technologies have allowed the development of these new composite materials in a near future will become part fundamental engineering materials with optimum mechanical characteristics and properties that can be evaluated with conventional methods treat common materials. Finally, it is satisfaction to provide new ways to retrieve the products already in use and give a particular application and above all functional. The following paragraphs are further explained briefly in this article, which aims to strengthen research increasingly deep in materials such.

**Key words:** composite, recycled, composition, microscopy, optical, properties, screen, impact, hardness, traction, concentration, index of fluency.

## 1. Introducción

En este documento se presenta una parte de lo que se refiere al estudio de materiales compuestos en específico la microscopía a partir de los microscopios ópticos hasta llegar al microscopio electrónico de barrido y por otro lado la influencia que tiene la geometría de la materia prima utilizada para reforzar un plástico, ya que en este documento se encuentra descrito un material compuesto de polipropileno reforzado con aserrín, en donde ambas materias primas son recicladas.

Cabe resaltar que éste es un material que estará aportando características específicas para posteriormente determinar las aplicaciones tangibles en la creación de una gama o familia de productos funcionales para la ingeniería de materiales.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Preparación del material compuesto

El material es formado por materia prima reciclada que se adquiere directamente de los productos de posconsumo, por mencionar el polipropileno éste se obtiene de una empresa que se dedica exclusivamente a la fabricación de envases de este material y el aserrín se proporciona de las madererías que trabajan exclusivamente con madera de pino, a continuación se describe la materia prima a utilizar en el material compuesto.

## A. Polipropileno

El polipropileno reciclado cumple con las propiedades mecánicas que a continuación se observan en la tabla 1, y que son las principales para el inicio del compuesto.

En esta tabla se aprecia que las propiedades del material reciclado, en forma general, tiene una reducción en cuanto a su valor relacionándolo con un material virgen de polipropileno, el cual es de 5-15% de variación por debajo.

Con lo mencionado hasta el momento se logra captar uno de los objetivos de esta investigación, el cual es obtener resultados satisfactorios en cuanto a las propiedades mecánicas del material evaluado a través de microscopía para así obtener un parámetro cercano a los materiales vírgenes, considerando que éste se encontrará reforzado con una fibra natural.

## B. Aserrín

Para esta investigación se utiliza aserrín exclusivamente de la madera de pino y ello se determinó, debido a que en el país es la madera que tienen un mayor consumo por los habitantes para la fabricación de muebles en casas habitación u oficinas, lo cual permite a su vez tener una cantidad mayoritaria de aserrín de este tipo de árbol.

Al igual que para el caso del polipropileno, se ofrece una tabla con las propiedades principales de la madera, aserrín de pino, para establecer las principales características de esta materia prima, por lo cual se muestra la tabla 2 con los datos correspondientes.

La tabla 2 da pauta para poder ejercer una base para que este material se controle y así se logren resultados satisfactorios al momento de fusionarlo con el polipropileno, ya que de acuerdo a la geometría con la que cuenta este material

**Tabla 1.** Propiedades del propileno reciclado.

Propiedad	Unidades	Valor
Módulo de elasticidad	N/mm <sup>2</sup>	1200
Resistencia a la tracción	N/mm <sup>2</sup>	30
Impacto	kJ/m <sup>2</sup>	16
Contracción	%	2
Dureza	Shore D	74
Índice de fluidez	g/10min	18

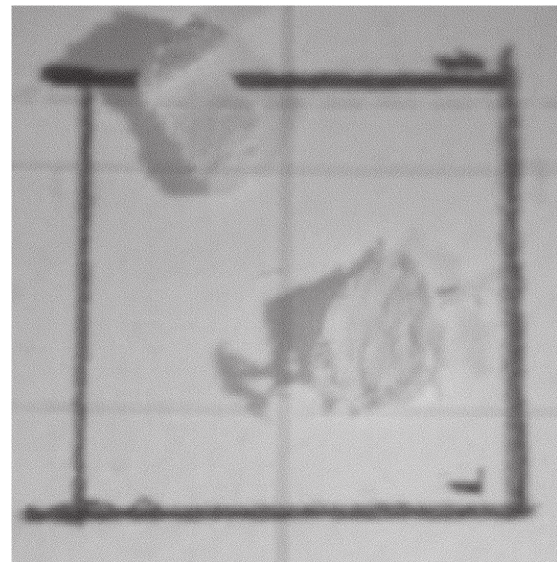
**Tabla 2.** Propiedades específicas del aserrín.

Propiedad	Unidades	Valor
Módulo de elasticidad	N/mm <sup>2</sup>	8.24
Dureza Brinell	HB	5.00
Módulo de rotura	N/mm <sup>2</sup>	51.01
Esfuerzo límite	N/mm <sup>2</sup>	26.48
Contenido de humedad	%	0.38

va a permitir que fluya adecuadamente en el momento que se lleva a cabo el proceso de transformación para la obtención del material compuesto.

En la figura 1 se muestra de manera general la geometría controlada que se está trabajando para el aserrín.

En la figura 1 se aprecia cómo es la geometría del aserrín y es de la manera en la cual se debe trabajar para un buen desempeño en la fusión con el polipropileno. De tal forma que al considerar este tipo de geometría, fibra alargada, permite un mejor desplazamiento con el plástico en el momento que se está realizando tanto el pelet para la materia prima



**Fig. 1.** Geometría del aserrín vista de un macroscópico en aumento de 9X.

en las probetas de los ensayos mecánicos, y la homogeneidad del material se genera gracias a la forma en cómo fluye la madera con el plástico.

Para controlar el tamaño del aserrín se ajustan tamices de acuerdo a la norma, NMX-B-231-1990, y con ello se establece un estándar de este aserrín quedando de la forma como se muestra en la figura 1.1.

Para llegar a estandarizar la materia prima, aserrín, se usan una serie de cribas clasificadas por números y con ello lograr el material requerido y posteriormente se vuelve a observar en el macroscopio para determinar que se está cumpliendo con el parámetro de la geometría estándar.

El proceso de tamizado a través de la norma mexicana, se lleva a cabo con la finalidad de controlar la geometría y tamaño de la partícula de aserrín con lo cual se estandariza la materia prima de madera que se utilizará para el material compuesto. Como se hizo mención anteriormente, se requiere de una geometría alargada, fibra, para mantener la homogeneidad del material y ello favorece el proceso para el control de las materias primas en todo su desarrollo.

El número de las cribas se menciona por medio de las cribas que se establecen en la tabla 3.

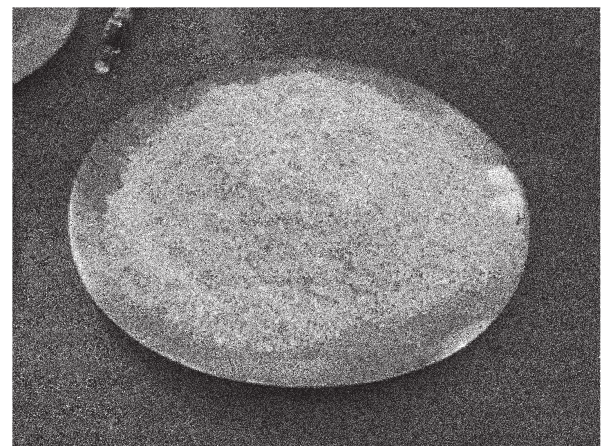
Igualmente se tiene la imagen siguiente, figura 2, la cual muestra el aserrín ya listo para ser procesado después de la separación en las cribas.

### C. Obtención de probetas estándar

Es bien sabido que la elaboración de probetas en la ingeniería requiere de un proceso o metodología estándar basada en documentos tangibles denominados normas, en donde se deben seguir de forma estricta los pasos para el desarrollo de probetas y a su vez permite que todo un proceso contenga los parámetros necesarios para su evaluación cuantificable,

**Tabla 3.** Clasificación de las cribas para el aserrín.

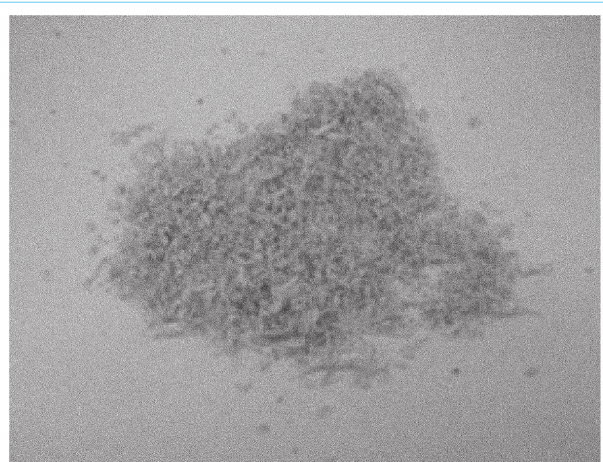
Criba	Número de malla
1	16
2	20
3	30
4	40



**Fig. 1.1.** Aserrín seleccionado después del cribado con malla número 40.

por ello es que se establece un proceso para la obtención de las probetas y que cumplan con los estándares existentes para la aplicación en los ensayos mecánicos, en donde los resultados están apegados a la realidad por las actividades desempeñadas.

En la obtención de este material se recurre a la fabricación de moldes para las probetas, las cuales se elaboran para los ensayos mecánicos de tracción, impacto y dureza y de ahí se toman algunas probetas para la observación con microscopio.



**Fig. 2.** Aserrín cribado para un mayor control.

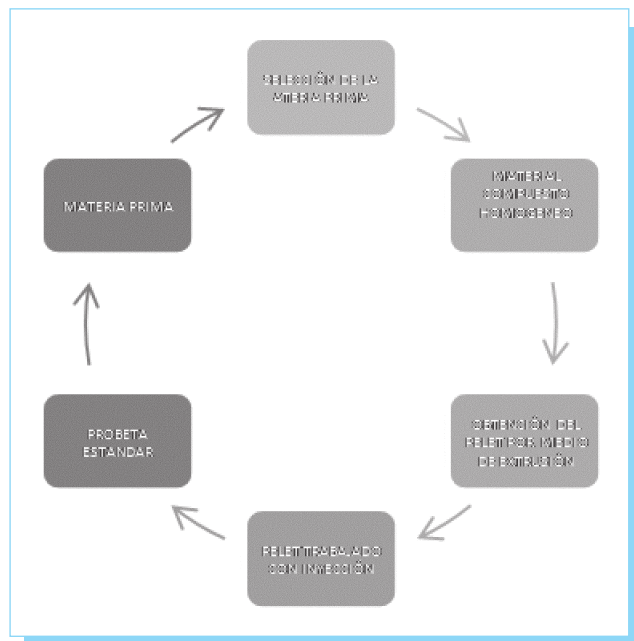
La metodología con la cual se lleva a cabo este proceso queda definida o especificada a través de un diagrama que se muestra en la figura 3.

De acuerdo a la figura 3. Se observa que el proceso en la obtención de las probetas va a depender de diversos procesos de transformación y todos ellos referidos a procesos mecánicos dentro de la ingeniería de materiales.

Sin duda para la obtención de estas probetas se debe establecer una composición adecuada de polipropileno y aserrín, el cual se establece en la siguiente tabla 4

En la tabla 4, se hace la consideración de cuatro composiciones estándar a manejar en el desarrollo del material compuesto para las probetas del correspondiente, las composiciones se consideran de esta forma con base en experimentos en donde dichas composiciones dan como resultado los mejores parámetros en la homogeneidad del material y debido a que composiciones con mayor cantidad, en porcentaje, de aserrín no permite un proceso adecuado en la máquina extrusora para la generación de los pelets compuestos.

En la tabla 5 se colocan parámetros con los cuales se controla la fabricación de las probetas en el proceso de inyección de plásticos para este material compuesto.



**Fig. 3.** Proceso para obtener piezas estándar del material compuesto.

**Tabla 4.** Composición de la materia prima.

Composición de polipropileno	Composición de aserrín
90%	10%
80%	20%
70%	30%
60%	40%

**Tabla 5.** Parámetros controlables en el proceso de inyección del compuesto plástico-madera (60-40%).

Probeta	Presión de inyección	Temperatura
Tracción	0.25 [MPa]	145°
Impacto	1.06 [MPa]	152°
Dureza	$3.14 \times 10^{-3}$ [MPa]	147°

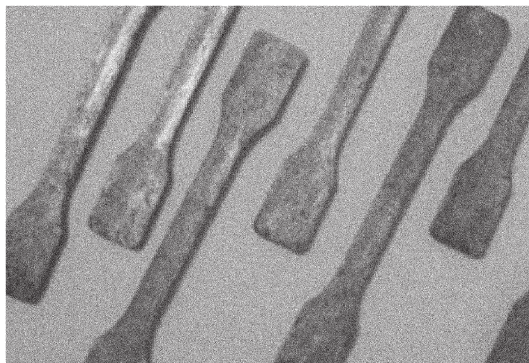
**Tabla 6.** Parámetros controlables en el proceso de inyección del compuesto plástico-madera composición 90-10.

Probeta	Presión de inyección	Temperatura
Tracción	0.20 [MPa]	137°
Impacto	1.00 [MPa]	144°
Dureza	$3.08 \times 10^{-3}$ [MPa]	139°

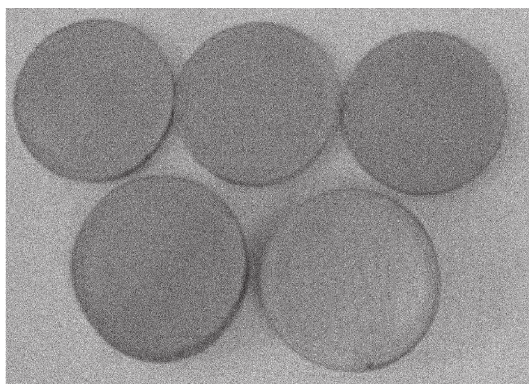
En la tabla 5 se observan los parámetros que se controlan en el proceso de inyección para el compuesto con la composición de 60% plástico y 40% aserrín.

En la tabla 6, se muestran los parámetros para la composición de 90% plástico, 10% aserrín y se observan los cambios en cuanto a la composición de 90-10 y ello se aprecia en la temperatura la cual disminuye conforme se tiene menor cantidad de aserrín en el material compuesto a ensayar.

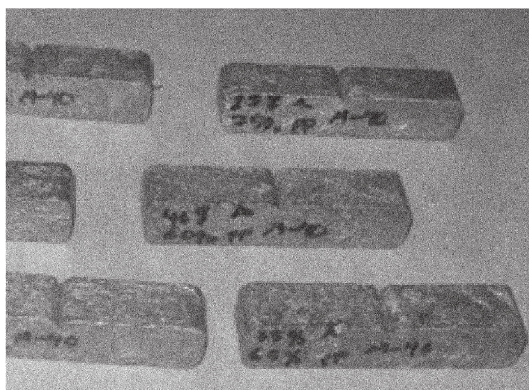
Y con ello se logra obtener las piezas que a continuación se muestran en la figura 4.



(I)



(II)



(III)

**Fig. 4.** Probetas estandarizadas de: (I) tracción, (II) dureza, (III) impacto.

Con estas probetas se inicia la observación microscópica que se describe más adelante, sin embargo es importante men-

cionar que las piezas se generaron bajo estándares establecidos para que la calidad de éstos se encuentre dentro del rango requerido y así obtener resultados satisfactorios.

En los siguientes párrafos se encuentra la forma en cómo se realiza la observación de las piezas y su preparación para posteriormente aplicar el proceso de microscopía.

#### D. Preparación de probetas para observación microscópica

Para la observación de las probetas en microscopios se requiere de una preparación previa para tal proceso, el cual se menciona a continuación.

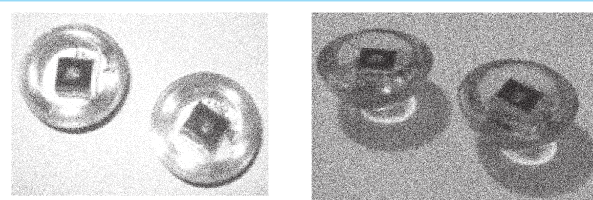
1. Selección de las probetas
2. Obtención de fotografías
3. Seccionamiento de las probetas
4. Montaje de las piezas
5. Lijado grueso
6. Lijado fino
7. Pulido fino

Al término de este proceso se obtiene como resultado, probetas con las características fundamentales para la observación en cada uno de los microscopios que se utilizan para la experimentación.

En la figura 5 se aprecia una de las piezas montadas en resina para su observación. La figura 5 muestra que las piezas deben ser preparadas previamente para así desarrollar adecuadamente cada uno de los experimentos que se requieren para la funcionalidad posterior de los productos.

La segunda etapa es considerar los diferentes microscopios a utilizar de los cuales se realiza una descripción de cada uno de ellos.

En primer lugar se tiene un microscopio de 25X-200X, con una interface directa con la pc y se realizaron diferentes



**Fig. 5.** Probetas en etapa de preparación en montaje.

tomas en donde se aprecia la forma en la cual se unen los dos materiales, polipropileno (PP)-aserrín (A).

Las primeras imágenes se tienen en la figura 6, que representan la observación por medio de un microscopio óptico usb.

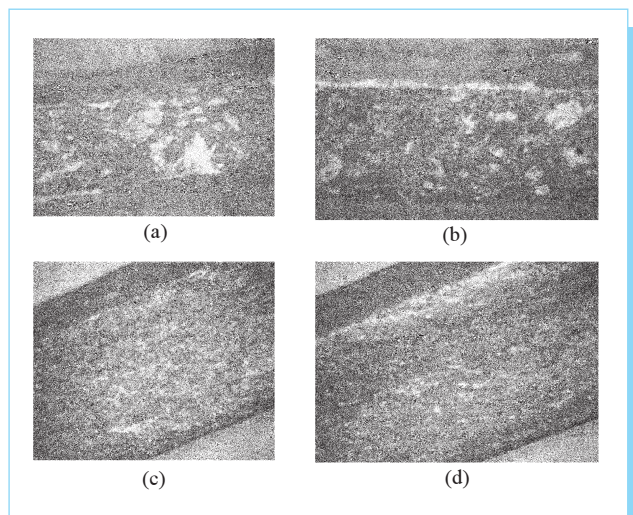
En la figura 6 se aprecian fotografías en donde se han considerado de observar cómo se encuentra fusionado el aserrín con el polipropileno. En la primera imagen (a) se tiene el material compuesto de la probeta de dureza con un 70% de PP, la imagen (b) en un porcentaje de 60% de PP, (c) es la imagen de las probetas de tracción en una composición de 30% de aserrín y la imagen (d) contienen 20% de aserrín.

De una manera muy sencilla se logra la observación en estas imágenes en donde el material de refuerzo se adhiere de una manera adecuada, éstas se obtienen con el microscopio portátil compatible con una PC.

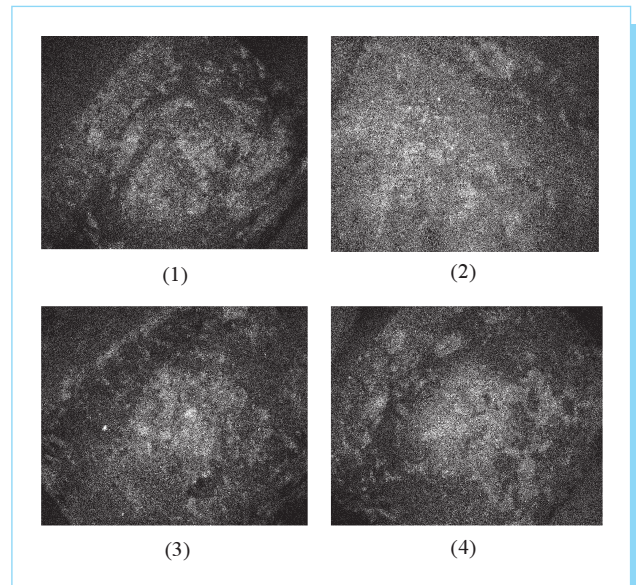
Ahora se utiliza un microscopio óptico con mayores características de enfoque, el cual permite visualizar con mayores aumentos las probetas y así determinar qué tan bien se adhiere el aserrín con el PP.

En estas imágenes mostradas en la figura 7 se ha logrado tener un mayor acercamiento, sin embargo existe una diferencia con respecto a las anteriores y ello se da porque se eligen en este caso probetas del ensayo de impacto, y por otro lado las composiciones son las siguientes:

(1) 60% de PP, (2) 70% de PP, (3) 80% de PP, (4) 90% de PP

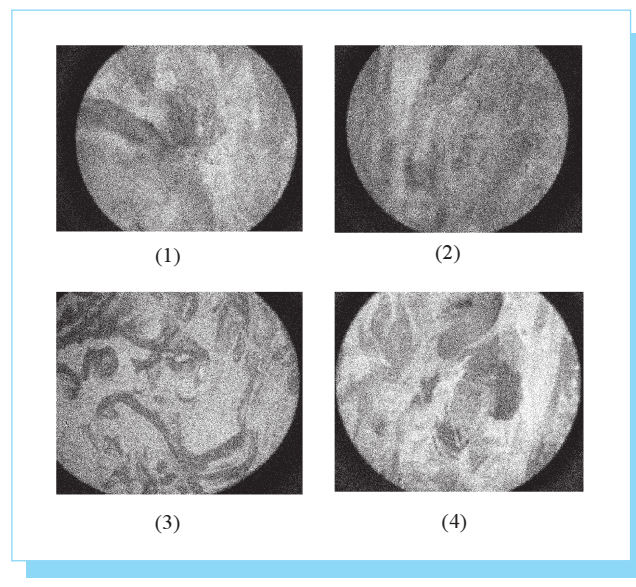


**Fig. 6.** Fotografías con microscopio óptico compatible con PC.

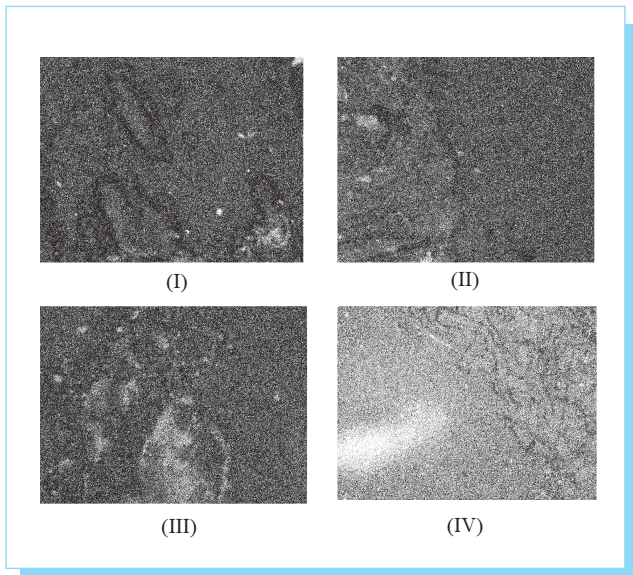


**Fig. 7.** Probetas de impacto observadas con microscopio óptico con aumentos de 20X.

Las imágenes que nos ofrece el microscopio óptico con aumentos de 5-100X. Son las imágenes que se muestran en la figura 8 y 9, con el mismo microscopio en aumentos de 50x.



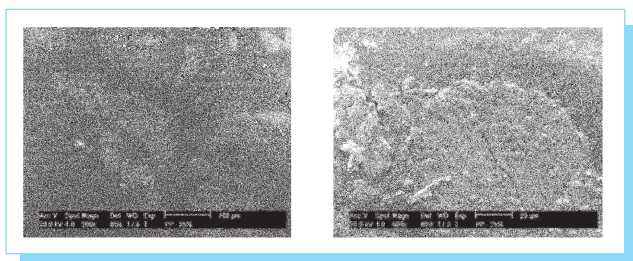
**Fig. 8.** Probetas de tracción observadas en aumentos de 50X, (a) 10% A, (b) 15% A, (c) 5% A, (d) 20%.



**Fig. 9.** Probetas de dureza en aumentos de: (I) 40% A aumento 50X, (II) 30% A aumento 50X, (III) 20% A aumento 50X, (IV) 10% A aumento 50X.

Enseguida se observan las imágenes que se logran captar con la microscopía electrónica de barrido, ahí las condiciones cambian y la forma en cómo se tratan las probetas es de manera diferente que al caso de las piezas anteriores. Para ello se tienen la figura 10 con imágenes muy interesantes acerca del material compuesto reciclado de PP-A.

En la figura 10 se muestra que la existencia del aserrín en cuanto a su adherencia con el polipropileno es consistente, lo cual se aprecia en la primera figura de la izquierda en donde se consideraron 200 aumentos, sin embargo al establecer aumentos mayores, 800 aumentos, se observa que el aserrín no tiene una adherencia perfecta y esto lo apreciamos en la ima-



**Fig. 10.** Acercamiento con el microscopio electrónico de barrido.

gen de la derecha, en donde hay bordes separados en relación a la unión con el material plástico, para este caso polipropileno, lo cual influye en el comportamiento del material al ser sometido a los ensayos mecánicos, este resultado en la microscopía electrónica de barrido se debe a que no se utilizó ningún adhesivo para la unión de los materiales, con el propósito de evaluar el material con materia prima reciclada.

## E. Resultados

La microscopía hasta el momento dentro de los materiales compuestos de plástico con madera permite establecer parámetros para el mejoramiento en las investigaciones de esta índole y por otro lado considerar que existe un campo muy amplio por abordar en esta situación.

Las imágenes desde el microscopio compatible por USB para computadoras hasta el microscopio electrónico de barrido han permitido observar cómo es el comportamiento de la fibra de madera en el plástico, sin perder de vista que la geometría del aserrín es un factor determinante para que algunas de las propiedades de material se vean beneficiadas al compagnar los materiales para formar el compuesto.

Y en cuanto a las propiedades del material compuesto tanto en tensión como en impacto son los que se muestran en la tablas 7 y 8.

**Tabla 7.** Ensayo de tracción de material compuesto.

Plástico (%)	Madera (%)	Malla (núm.)	Carga soportado [KN]
90	10	10	1.09
80	20	20	0.96
70	30	30	0.85
60	40	40	0.82

**Tabla 8.** Ensayo de impacto para material compuesto.

Porcentaje	Energía [kJ/m <sup>2</sup> ]
90%PP-10%A	15.20
80%PP-20%A	16.00
70%PP-30%A	11.84
60%PP-40%A	15.36

De acuerdo a las imágenes y los resultados de los ensayos, éstos son coincidentes y ello debido a que a mayor cantidad de aserrín disminuyen las propiedades mecánicas y se atribuye a que existe menor área de superficie de contacto por lo que las partículas de aserrín no logran la adherencia esperada con el polipropileno y se generan las pequeñas fisuras de la unión de aserrín con el plástico que se observaron en las figuras del microscopio electrónico de barrido.

Por otro lado, se ha observado que es necesario el pensar en un método para lograr que el aserrín quede totalmente inmerso en el polipropileno, ya que en la mayoría de las imágenes se aprecian secciones de aserrín en donde este mismo contiene grietas y no logra adherirse de manera eficiente hacia el material plástico, y por ello se establece que existen mejoras en la forma de generar y formar el material compuesto de PP-A.

### 3. Conclusiones

Dentro de este apartado es necesario considerar que estos materiales compuestos que se han establecido como parte importante en la ingeniería tendrán aplicaciones amplias en diversas ramas de estudio e investigación y desarrollo ya que en muchos lugares del mundo se está incursionando en el ámbito del medio ambiente y el poder realizar productos con materiales de posconsumo hará que las condiciones para los desarrollos de materiales sean más completos y funcionales.

En el transcurrir de esta investigación con materia prima reciclada se han llegado a fortalecer las temáticas en el mejoramiento de propiedades en los materiales que utilizan esta materia prima lo cual representa un reto muy amplio debido a que las condiciones de materiales vírgenes varían en buena parte con lo reciclado y en esta investigación se han encontrado parámetros importantes que logran un crecimiento en el ámbito de la ingeniería de materiales compuestos, en donde se busca considerar factores tangibles para el buen desarrollo de estos materiales en análisis futuros.

En relación a la geometría que se utiliza en este compuesto es importante resaltar que se requiere de un control muy estricto para que este mismo material pueda fluir adecuadamente sobre el material plástico y en relación a la microscopía se ha observado la gran importancia que nos ofrece la tecnología en el ámbito de los materiales, en donde los resultados son satisfactorios de acuerdo a lo establecido en un principio para este trabajo, sin embargo, se está consciente de que las propiedades del material puede mejorar para así considerar la metodología óptima en el desarrollo del compuesto de PP-A.

En estos tiempos se está trabajando para dar mejoras a los materiales compuestos con este tipo de materia prima y con ello tener las bases firmes para obtener materiales con aplicaciones tangibles dentro de la ingeniería.

### Nomenclatura

MP	material compuesto
PP	polipropileno
A	aserrín
%	porcentaje
Ex	extrusión
In	inyección
Mt	materia prima
Ge	geometría
M	malla

### Referencias

- [1] D. Harper, y M. Wolcott, *Interaction between coupling agent and lubricants in Wood-polypropylene composites*, Department of Civil and Environment Engineering College of Engineering and Architecture, Washington State University.
- [2] D. Bhattacharyya, M. Bowis, y K. Jayaraman, *Thermoforming woodfibre-polypropylene composite sheets*, Center for Composites Research, School of Engineering, University of Auckland.
- [3] A. K. Bledzki, y O. Faruk, *Creep and impact properties of wood fibre-polypropylene composites: influence of temperature and moisture content*, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff-und Recyclingtechnik, University of Kassel, Germany.
- [4] A. Espert, F. Vilaplana, y S. Karlsson, *Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties*, Department of Fibre and Polymer Technology, Royal Institute of Technology.
- [5] A. K. Bledzki, M. Letman, A. Viksne, y L. Rence, *A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre-PP composites*, Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Monchebergstr Germany, Polymer Material Institute, Riga Technical University, Latvia.
- [6] A. K. Bledzki, y O. Faruk, *Injection moulded microcellular wood fibre-polypropylene composites*, Institut für Werkstofftechnik, Universität Kassel, Monchebergstr Germany.