

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE UN MATERIAL  
COMPUESTO A PARTIR DE POLICARBONATO POST-CONSUMO Y  
CASCARILLA DE ARROZ.**

**LUIS MIGUEL BÁEZ GAYÓN  
LADY JOHANA ROCHA VELASCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE UN MATERIAL  
COMPUESTO A PARTIR DE POLICARBONATO POST-CONSUMO Y  
CASCARILLA DE ARROZ.**

**LUIS MIGUEL BÁEZ GAYÓN  
LADY JOHANA ROCHA VELASCO**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Químico**

**DIRECTOR  
M. Sc JOSE CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor José Carlos Gutiérrez por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander, y a los profesores de ingeniería química que nos acompañaron en el proceso de desarrollo como profesionales.

A los técnicos del laboratorio de operaciones unitarias Eduardo Carreño y Wilson Carreño, por sus enseñanzas y colaboración en el desarrollo del proyecto en cuanto al manejo de los equipos del laboratorio.

A Laura Ximena Rojas y Elizabeth Dosa, por su compañía y apoyo en el desarrollo de la investigación.

A Carolina Sánchez, quien siempre estuvo dispuesta a orientarnos en cuanto al desarrollo de la tesis.

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por guiarme y acompañarme siempre en cada paso que doy, y por permitirme culminar esta etapa de mi vida.*

*A mis padres Álvaro y Teofilde a quienes dedico este gran logro porque con su esfuerzo y dedicación me brindaron siempre su apoyo durante mi formación personal y profesional. Gracias porque depositaron toda su confianza en mí y hoy mi triunfo es el de ustedes, los amo infinitamente.*

*A mis hermanitos Andrés, Carlos y Wilmer, a quienes agradezco su apoyo y amor lo cual me impulso a luchar por este logro.*

*A mis padrinos Melquisedel y Rosalba por ser mis segundos padres, por estar pendientes de mí y por sus buenos y sabios consejos. A mis primitos, por siempre estar dispuestos a sacarme una sonrisa cuando todo a mí alrededor parecía desvanecerse.*

*A Leonardo Sanabria, quien compartió este gran sueño conmigo, me brindó su amor y apoyo incondicional, quien con sus regaños me dio fortaleza para seguir cuando en ocasiones quería desistir. Porque siempre creyó en mí y me enfocaba en lo que en verdad eran mis prioridades.*

*A mis compañeros y amigos de comienzo de carrera: Angie, Mónica, Miguel, Ximena, Nidia, Victor, Sandra, Diego, Tatiana, Jurany, Jonathan a quienes doy infinitas gracias por brindarme momentos inolvidables.*

*A mis más recientes amigos: Erika (kiñis), Lore, Lina, Daniel, Cristian, Angélica, Mary, Santi, Moncho, Pili, Jenny (cuñis), Edwin, Yeye, Liyen, Cristian, Jorge, Rosita a quienes doy gracias por permitirme ser parte de sus vidas, por regalarme una sonrisa y por transformar cada instante de mi vida en algo sencillamente para recordar.*

Lady Johana Rocha Velasco

## DEDICATORIA

*A mis padres, MARINA y MIGUEL, que con su inmenso esfuerzo, sus palabras de aliento y apoyo incondicional durante mi formación profesional, fueron, son y serán siempre partícipes activos de todo este proceso, donde no solamente crecí en conocimiento, sino que me forme como persona íntegra y laboriosa.*

*LUIS MIGUEL BÁEZ GAYÓN*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	18
1. MARCO TEÓRICO	20
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	22
2.1. DISPOSICIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	22
2.1.1. Cascarilla de arroz.	22
2.1.2. Policarbonato postconsumo (PC-P).	23
2.2. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	24
2.2.1. Cascarilla de arroz	24
2.2.2 Policarbonato	24
2.3. ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	25
2.3.1. Material compuesto, PC- P y cascarilla de arroz.	25
2.3.2. Moldeo del composite.	25
2.3.3. Material compuesto, PC- P, cascarilla de arroz y acetato de amilo.	26
2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL	26
2.4.1 Ensayo de impacto.	26
2.4.2. Ensayo de flexión.	27
2.4.3. Ensayo de tensión	27
2.4.4. Ensayo de dureza.	27
2.4.5. Prueba de densidad.	27
2.4.6 Prueba de absorción de agua.	28
2.4.7 Prueba de llama.	28
2.4.8 Prueba de degradación química.	28
2.5 PRUEBAS PRELIMINARES	28
2.5.1 Determinación de la temperatura, presión y tiempo de prensado.	28
2.5.2. Determinación de la presión.	30

2.5.3 Determinación de la composición y tamaño de partícula.	30
2.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	31
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
3.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS	33
3.1.1. Prueba de impacto izod.	33
3.1.2. Prueba de flexión.	34
3.1.3 Ensayo de tensión.	35
3.1.4 Prueba de dureza.	37
3.1.5 Prueba de densidad.	39
3.1.6 Prueba de absorción de agua.	40
3.1.7 Test de llama.	41
3.1.8 Degradación Química.	41
4. CONCLUSIONES	45
5. RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	53

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Primer ensayo para determinar la temperatura y tiempo de prensado	29
Tabla 2. Ensayos para determinar la temperatura y tiempo de prensado (PC)	29
Tabla 3. Ensayos para determinar la temperatura y tiempo de prensado (PC-P+ Cascarilla)	29
Tabla 4. Ensayos iniciales para determinar la presión de operación.	30
Tabla 5. Diseño de experimentos	32

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Esquema para la elaboración del composite	22
Figura 2. (a) Cascarilla de arroz entera; (b) Cascarilla de arroz después del proceso de molienda.	24
Figura 3. (a) PC reciclado; (b) Material obtenido de la trituración manual; (c) Material obtenido de la molienda.	25
Figura 4. Proceso del moldeo del composite. (a) preparación del composite en los moldes ; (b) composite despues del proceso de prensado.	26
Figura 5. Esquema general del diseño de experimentos para la obtención del composite.	32
Figura 6. Probetas para el ensayo de impacto. (a) Probetas antes del ensayo; (b) probetas después del ensayo.	33
Figura 7. Ensayo de flexión. (a) Probetas antes de la prueba; (b) Probetas después del ensayo.	34
Figura 8. Probetas para el ensayo de tensión. (a) Probetas antes del ensayo; (b) Probetas después del ensayo.	35
Figura 9. Prueba de dureza	38
Figura 10. (a) Prueba de llama; (b) probeta (PC-P/cascarilla) al finalizarla prueba de llama; (c) muestras de PC-P100% al finalizarla prueba de llama	41
Figura 11. Prueba de resistencia química utilizando NaOH. (a) PC-P/ Cascarilla color de la solución; (b) PC-P/ Cascarilla superficie del material; (c) PC-P superficie del material.	42
Figura 12. Prueba de resistencia química utilizando tolueno. (a) PC-P/Cascarilla color de la solución; (b) PC-P/Cascarilla superficie del material; (c) PC-P superficie del material.	43

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>pág.</b>
Grafica 1. Datos promedio obtenidos en prueba de impacto. Influencia del número de malla.	33
Grafica 2. Datos promedio obtenidos en prueba de flexión. Influencia del número de malla.	34
Grafica 3. Resumen de los promedios obtenidos para las propiedades de tensión respecto al No. de malla. (a) esfuerzo a la ruptura. (b) deformación a la ruptura. (c) modulo elástico.	36
Grafica 4. Datos promedio obtenidos en prueba de dureza. Influencia del número de malla.	38
Grafica 5. Datos promedio obtenidos en prueba de densidad. Influencia del número de malla.	39
Grafica 6 Datos promedio obtenidos en prueba de absorción de agua. Influencia del número de malla.	40

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Composición química de la cascarilla de arroz.	53
Anexo B. Parámetros y propiedades de la cascarilla de arroz.	53
Anexo C. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del PC	53
Anexo D. Propiedades físicas del acetato de amilo.	54
Anexo E. Prueba de impacto	54
Anexo F. Prueba de flexión	56
Anexo G. Resultados prueba de tensión	57
Anexo H. Prueba de densidad	59
Anexo I. Prueba de absorción de agua	60
Anexo J. Prueba de resistencia química	61

## RESUMEN

**TÍTULO:** ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE POLICARBONATO POST-CONSUMO Y CASCARILLA DE ARROZ.\*

**AUTORES:** Lady Johana Rocha Velasco, Luis Miguel Báez Gayón\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Policarbonato post-consumo, materiales compuestos, fibras naturales, polímeros reforzados.

### DESCRIPCIÓN:

Aprovechar el exceso de algunos materiales poliméricos que son arrojados como desecho, para darles un adecuado uso, resulta provechoso a la hora de ofrecer alternativas para mitigar el impacto ambiental. Se busca apaciguar esta problemática utilizando estos residuos y reforzándolos con fibras naturales para obtener así materiales compuestos que replacen los usados convencionalmente.

En la elaboración del material compuesto a partir de policarbonato post-consumo (matriz polimérica) y cascarilla de arroz (refuerzo), se llevaron a cabo varias etapas, inicialmente se realizó una molienda y clasificación por tamaño de partícula para cada una de las materias primas, seguido se realizó una mezcla manual con el objetivo de conseguir uniformidad en sus componentes y finalmente se prensó en caliente el material para la obtención del composite. En una segunda etapa se adicionó un agente acoplante al proceso con el fin de generar una mayor compactación del material. Se efectuaron pruebas preliminares para hallar las condiciones de operación del prensado (presión, temperatura y tiempo), se realizaron variaciones de composición y tamaño de partícula para ambos compuestos (con y sin agente acoplante), de esta manera se logró obtener un material compacto, liviano, resistente a la humedad, perfectamente maquinable, con resistencia parcial a algunos agentes químicos y buen comportamiento térmico que permite considerarlo como útil en diversas aplicaciones. Estos composites se consideran de bajo costo puesto que se han incluido materiales de desecho en su fabricación, generando así, materiales amigables con el ambiente.

---

\*Trabajo de investigación

\*\*Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego.

## ABSTRACT

**TITLE:** Preliminary development and characterization of a compound material made from post-consumer polycarbonate and rice husks. \*

**AUTHORS:** Lady Johana Rocha Velasco, Luis Miguel Báez Gayón \*\*

**KEY WORDS:** Polycarbonate post-consumer, compound material, natural fibers, reinforced polymers.

### DESCRIPTION:

Harness the excess of some polymeric materials that are dumped as waste to give them a proper use is helpful to mitigate the environmental impact. The goal is to appease this problem by using these residues and reinforcing them with natural fibers to obtain in this way compound materials which replace those conventionally used.

In the elaboration of the compound material made from post-consumer polycarbonate (polymer matrix) and rice husk (reinforcement), several stages were carried out. Initially, it was made a grinding and classification by particle sizing for each one of the raw materials, followed by a manual mixing, it was performed in order to achieve uniformity in its components, and finally the material was hot pressed for obtaining the composite. In a second stage a plasticizing agent was added to the process in order to generate a higher compaction of the material. Preliminary tests were performed to find the pressing operation conditions (pressure, temperature and time). Variations of composition and particle size were performed for both compounds (with and without plasticizer), in this way, it was possible to obtain a compact, lightweight, and resistant to moisture material, perfectly machinable, with partial resistance to some chemical agents and good thermal performance which enables consider itself useful in various applications. These composites are considered low cost since waste materials have been included in its manufacture, thus generating environmentally friendly materials

---

\*Research work

\*\*Physical Chemistry Engineering Faculty, Chemical Engineering School. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los residuos sólidos han constituido una de las grandes problemáticas ambientales con impactos a nivel global. Debido a esto, surge la necesidad de encontrar soluciones a los problemas que se presentan cuando se disponen los desechos al curso natural del medio ambiente. En Colombia, se aprovechan aproximadamente 1.880.000 T/año de residuos de los cuales el 12.83% corresponden a plásticos [1]. El reciclaje, considerado como un método alternativo de separación de desechos, se plantea como una estrategia en el control de los residuos industriales, proporcionándole a estos un valor agregado y convirtiéndolos así en materiales valiosos.

Los plásticos han sido utilizados para diversos fines a través del tiempo, pero al finalizar su vida útil estos son arrojados como residuos. Por lo tanto, su reutilización directa y unión con otro tipo de materiales, como lo son las fibras naturales, promueve la formación de nuevos materiales, ampliando así la gama de productos en cuanto a materiales compuestos se refiere [2].

Un polímero reforzado es un material compuesto que consiste en una matriz de polímero incorporada con fibras de alta resistencia. Las características de la matriz suministran un excelente comportamiento frente a la corrosión y una destacada ligereza. A su vez, el refuerzo permite una importante mejora en las propiedades mecánicas (rigidez y resistencia) [3]. Su procesamiento presenta retos significativos al lograr transmitir carga a través de la interface (fibra/matriz), ya que esta une las fibras con la matriz y actúa como un medio que distribuye a las fibras los esfuerzos aplicados; por lo tanto, una unión débil causa la presencia de imperfecciones superficiales que conducen a la fractura del material; es en este punto donde se define en gran medida la estructura del mismo [4]. Si no se logra

una buena adherencia en la interface, se hace necesario mejorarla mediante tratamientos especiales como el uso de agentes acopladores; además, son numerosas las características que distinguen a los plásticos reforzados con fibras naturales como materiales para el uso en la ingeniería, esto dado que actualmente son utilizados en la industria de la construcción, automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y entre otras muchas aplicaciones [5].

Por otra parte, el uso de subproductos agroindustriales tales como las fibras vegetales, en algunos casos consideradas como desechos, representa una ventaja al lograr sustituir la utilización de fibras sintéticas, dado que la mayoría de estas se fabrican a partir de derivados del petróleo, lo cual implica un desmedido agotamiento de los recursos no renovables.

Por lo anterior, el objetivo principal de esta investigación es obtener un material de matriz polimérica PC-Postconsumo (PC-P), reciclado de CD's, reforzada con cascarilla de arroz para lograr remplazar materiales de uso común.

## 1. MARCO TEÓRICO

**Cascarilla de arroz:** La cascarilla es una fibra corta, su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales. La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica. En el anexo A, se presenta la composición química de la cascarilla de arroz [6].

La cascarilla de arroz presenta una gran variedad de características físicas propias de su estructura, las cuales ofrecen un aporte significativo a las propiedades que tendrá el nuevo material. En el anexo B, se ilustra algunos parámetros y propiedades [6].

**Policarbonato (PC):** Polímero formado por moléculas de Bisfenol-A, unidas con grupos de carbonato. Es un termoplástico con propiedades muy atractivas en cuanto a su resistencia al impacto, su resistencia al calor y su transparencia óptica. Las propiedades que distinguen al PC de otros polímeros se indican en el anexo C [7].

**Policarbonato Postconsumo (PC-P):** Polímero cuya vida útil ha finalizado y que es posible reciclar, convirtiéndolo en materia prima principal en la fabricación de otros productos.

**Composites:** Representa la combinación de dos o más componentes diferentes, uno actúa como componente de cohesión (matriz) y el otro como refuerzo. Los

componentes de cohesión envuelven y unen los componentes de refuerzo manteniendo la rigidez y la posición de éstos. Son de diferentes formas y manejan cierta proporción entre ellos para obtener características y propiedades específicas [8].

**Plásticos reforzados:** Material compuesto cuya matriz es un polímero y se refuerza con un componente que suele ser una fibra fuerte como fibra de vidrio, cuarzo, fibra de carbono, incluso fibras naturales. El refuerzo con fibras es un proceso destinado a crear materiales plásticos con nuevas propiedades [9].

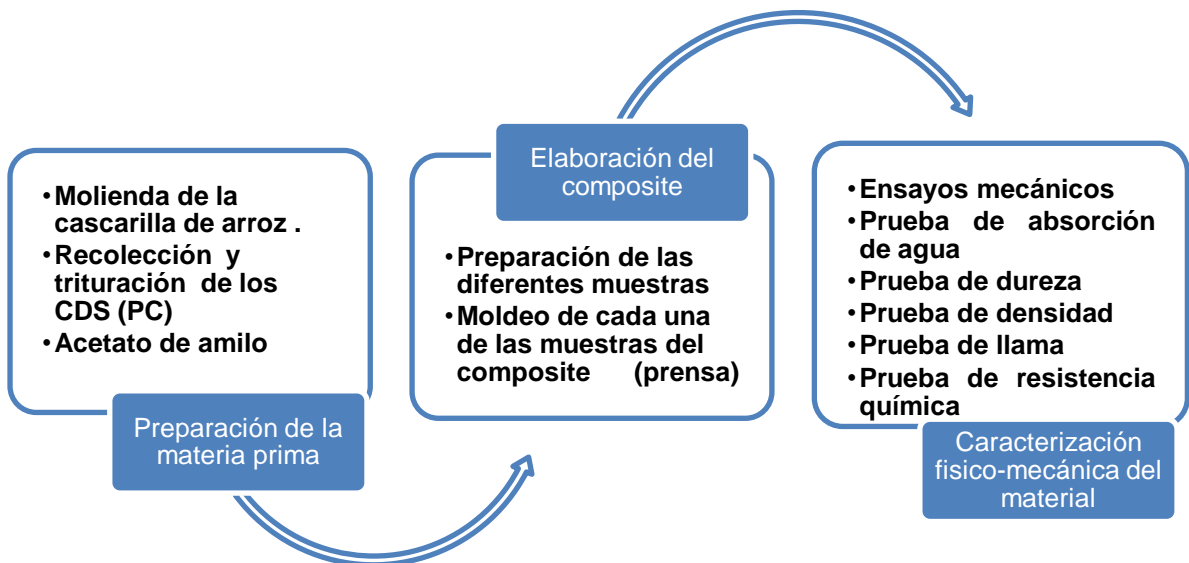
**Agente acoplante:** Son compuestos químicos que se añaden a un polímero con el fin de solubilizar y facilitar la integración de los granos de este a la cascarilla. Pero se evapora cuando cumple su función, al calentar y prensar.

**Acetato de amilo:** Es un compuesto orgánico de fórmula  $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ , líquido transparente que desprende un fuerte olor afrutado (banano y pera), altamente inflamable, para el caso de estudio se utiliza como agente acoplante con el fin de lograr una mayor dispersión del PC y de esta forma obtener una estructura definida y compactada (matriz-refuerzo), en el anexo D, se listan algunas de las características de este compuesto [10].

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación se ilustra el esquema general que se planteó, para la elaboración del composite, explicando el procedimiento que se llevó a cabo para cada etapa.

Figura 1. Esquema para la elaboración del composite



Fuente: Autores

### 2.1. DISPOSICIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

**2.1.1. Cascarilla de arroz.** La cascarilla de arroz, está siendo mal aprovechada debido a que la industria arrocerera dispone de esta fibra como un desecho, es destinada a los botaderos de basura o eliminada en quemas a cielo abierto que emiten gases ( $\text{CO}_2$ ), los cuales afectan al ecosistema y al medio ambiente, desaprovechando la variedad de características y componentes lignocelulósicos que determinan su potencial calórico, esta fibra vegetal puede ser utilizada para la

generación de energía eléctrica, como aislante térmico de alta efectividad y como componente para la fabricación de materiales de construcción [11].

La cascarilla de arroz fue suministrada por la arrocera Tropical Ltda., ubicada en la Cra 16 # 7-25 de la ciudad de Bucaramanga.

**2.1.2. Policarbonato postconsumo (PC-P).** El policarbonato es el principal componente de los CD's, en Colombia aproximadamente 100.000 CD's quedan obsoletos cada mes y son dispuestos a los vertederos e incineradoras, perdiendo de esta forma su potencial de uso e innumerables propiedades, una de ellas es ser termoplástico, razón por la cual puede ser reciclado y utilizado como materia prima para otros procesos [12].

Aunque los requerimientos de calidad de los productos cada vez son mayores, este proyecto aborda la reutilización directa de los CD's junto con todos sus componentes, puesto que dichos componentes (tintes, capa reflectante de aluminio, capa protectora de laca y etiqueta) no afectan la estructura del material a realizar debido a que están presentes en cantidades muy pequeñas.

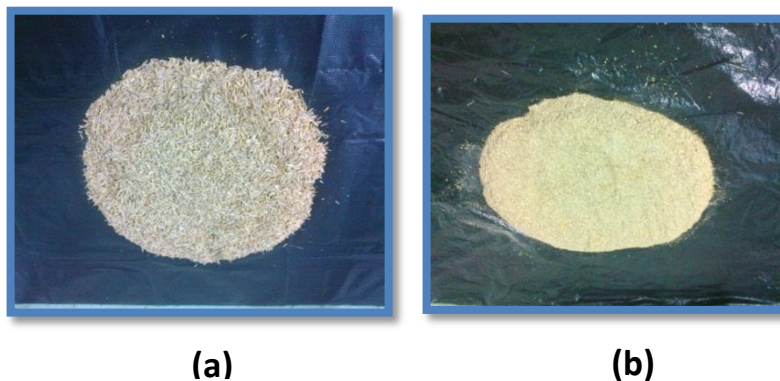
Los CD's fueron proporcionados por el centro de tecnologías de información y comunicación (CENTIC) de la Universidad Industrial de Santander, los cuales fueron sometidos a un proceso de molienda obteniéndose de esta forma el policarbonato deseado.

## 2.2. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

**2.2.1. Cascarilla de arroz.** Una vez adquirida la cascarilla, ésta se sometió a un tratamiento que incluye: molienda, clasificación de tamaño-partícula y una posterior etapa de secado.

La molienda se realizó en un molino de cuchillas (Standard Model No.3), se continuó con la separación por tamaño de partícula en una serie de tamices (Portable Sieve Shaker Model RX-24) obteniéndose en esta etapa diferentes granulometrías y se realizó un secado de ésta en la estufa a un temperatura de 100 °C y durante 5 horas (LAB-Linesinstruments, serie 0975) con el fin de eliminarla mayor cantidad de humedad posible, debido a que en la etapa de prensado en caliente del material compuesto sí hay presencia de humedad, ésta propiciará la formación de burbujas que generan poros y el daño de la estructura del material.

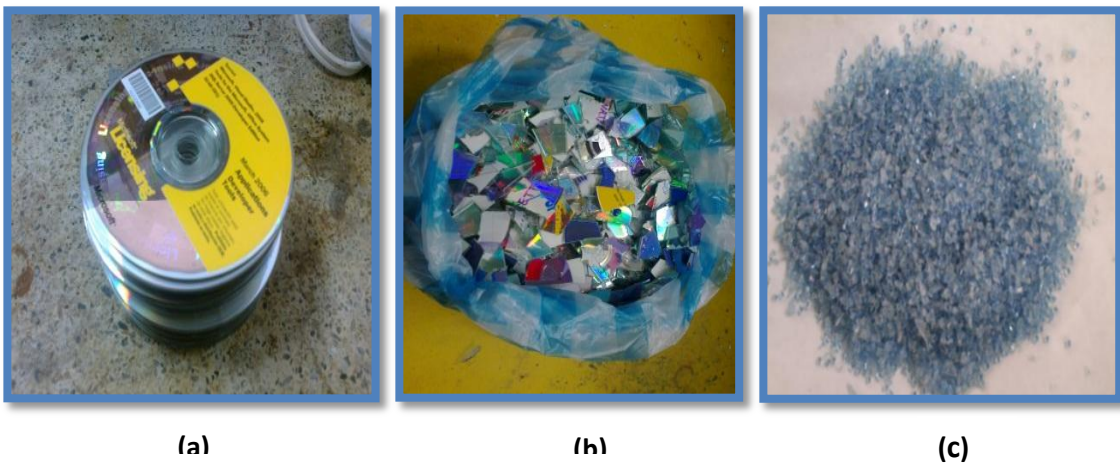
**Figura 2. (a) Cascarilla de arroz entera; (b) Cascarilla de arroz después del proceso de molienda.**



**2.2.2 Policarbonato.** Una vez recolectados los CD's se procedió a adecuarlos para el proceso de molienda, en primer lugar se redujo su tamaño mediante la ayuda de cortador de alambre caliente (ferróniquel de 9,787  $\Omega/m$ ) y tijeras

industriales, de donde se obtuvo un tamaño irregular de 2- 3 cm aproximadamente, esto para facilitar su molienda, ésta se llevo a cabo en un molino de cuchillas en continuo (Laboratorio Mill Model 4),posteriormente se pasó el material por una serie de mallas (Portable Sieve Shaker Model RX-24) para efectuar la separación de los gruesos y finos.

**Figura 3. (a) PC reciclado; (b) Material obtenido de la trituración manual; (c) Material obtenido de la molienda.**

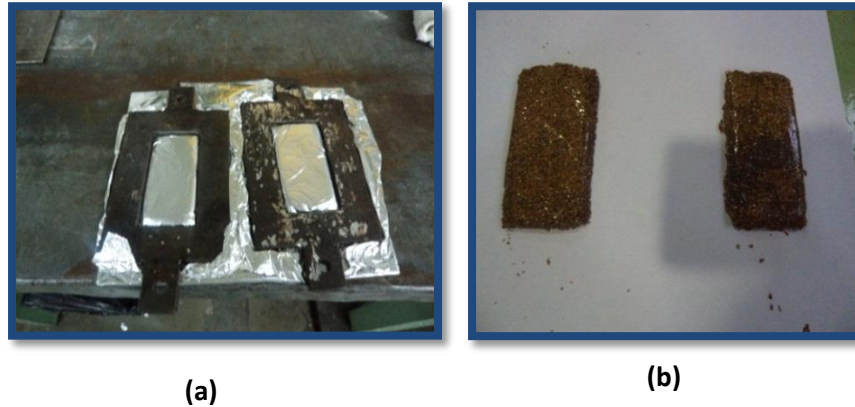


## **2.3. ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO**

**2.3.1. Material compuesto, PC- P y cascarilla de arroz.** Para la elaboración del material, luego de la molienda y selección de las materias primas, se procedió a realizar una mezcla manual con el objetivo de conseguir una uniformidad de sus componentes.

**2.3.2. Moldeo del composite.** Una vez obtenida la mezcla del material, se procedió a fijarlo en moldes para ser llevado a una prensa (Berstor AF. 59-50131). En esta etapa de prensado las variables más importantes son la presión, temperatura y tiempo de prensado.

**Figura 4. Proceso del moldeo del composite. (a) preparación del composite en los moldes ; (b) composite despues del proceso de prensado.**



Se observó que el material obtenido no presentaba una óptima compactación, debido a esto se hizo necesario adicionar un agente acoplante al proceso.

**2.3.3. Material compuesto, PC- P, cascarilla de arroz y acetato de amilo.** En la preparación del material se adicionó cierta cantidad del agente acoplante a la mezcla PC- cascarilla, hasta observar una mezcla húmeda y homogénea, luego, se realizó el mismo procedimiento de prensado del composite descrito en la sección 2.3.2.

## **2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL**

Posteriormente se definen las características físicas y mecánicas de las piezas del material elaborado [13]. Para determinar las propiedades mecánicas se realizaron pruebas de impacto, tensión y flexión.

**2.4.1 Ensayo de impacto.** Es una prueba establecida para determinar la energía de impacto y el nivel de resistencia de un material ante un choque o golpe intenso repentino [14]. Esta prueba se realizó siguiendo la norma ASTM D6110 -10

(Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics). La prueba se efectuó en un equipo (Scott Testers, N° PP20200).

**2.4.2. Ensayo de flexión.** Es una prueba que se utiliza para determinar las propiedades de los materiales frágiles en tensión [15]. Para la realización de este ensayo se utilizó la Norma ASTM D790-10 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials).

**2.4.3. Ensayo de tensión.** Este tipo de prueba mide la resistencia de un material cuando se le aplica una fuerza que se va incrementando gradualmente [16]. Para determinar las distintas propiedades que se obtienen de un ensayo de tensión se utilizó la norma ASTM D638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. El ensayo de tensión se llevó a cabo en un equipo Scott Testers. Model: L6, N° C50649.

**2.4.4. Ensayo de dureza.** Esta prueba se realizó con el fin de medir la dureza del material, es decir la resistencia a ser rayados por un material más duro, o a que un penetrador genere una huella superficial cuando se aplica de forma controlada una carga [17]. Para su realización se utilizó un durómetro, siguiendo la norma ASTM D2240-10, Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.

**2.4.5. Prueba de densidad.** Se utilizó el principio de Arquímedes; el cual permite encontrar una relación entre la masa y el volumen de un objeto, mediante la observación de la cantidad de volumen desplazado cuando se sumerge el sólido en un líquido [18]. Para la realización de esta prueba se tomaron muestras de material y se sumergieron en agua, calculando el volumen desplazado con la ayuda de una probeta.

**2.4.6 Prueba de absorción de agua.** Esta prueba se empleó, para determinar el grado de absorción de agua en materiales plásticos cuando estos son sumergidos [19]. Para realizar esta prueba se utilizó la norma ASTM D570 - 98(2010) (Standard Test Method for Water Absorption of Plastics).

**2.4.7 Prueba de llama.** Este test permitió observar el comportamiento del material ante la llama, se dispuso de una muestra de material y se realizó dicha prueba.

**2.4.8 Prueba de degradación química.** Teniendo en cuenta a los ambientes que son expuestos algunos materiales y que pueden ocasionar daños en su estructura interna y externa, se realizaron pruebas donde se sometió al material durante 10 días al contacto con diversos agentes químicos, en soluciones al 10% en peso de NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y en tolueno, hipoclorito de sodio comercial, tiner comercial y metanol.

## **2.5 PRUEBAS PRELIMINARES**

**2.5.1 Determinación de la temperatura, presión y tiempo de prensado.** Para la determinación de las mejores condiciones de operación (temperatura, presión, tiempo de prensado, composición (matriz/fibra) y granulometría) en el proceso de fabricación del material fue necesario realizar varios ensayos preliminares, las primeras pruebas se realizaron con el fin de encontrar la temperatura y tiempo de operación, se tomó como referencia la temperatura de reblandecimiento del PC virgen (125°C) y la temperatura a la cual la cascarilla pierde sus propiedades ( 750 °C), basados en esto, se procedió a iniciar con los ensayos, con una probeta que contiene solo PC-P y otra con PC-P/Cascarilla, la tabla mostrada a continuación indica los valores a los cuales se dio inicio a la prueba:

**Tabla 1. Primer ensayo para determinar la temperatura y tiempo de prensado**

Material	Relación (%p/p)	Nº de Malla	Tiempo de prensado (min)	Temperatura (°C)
<b>PC-P</b>	100	60	10	125
<b>PC- P/ Cascarilla de arroz</b>	50/50	60	10	125

Terminado este primer ensayo se consideró que era necesario aumentar el tiempo de prensado, esto con el fin de que el PC-P alcance a fundirse y de esta manera proporcione una adecuada consistencia al material. Se incrementó el tiempo en intervalos de 10 minutos hasta un límite de 30 minutos, observándose que el material presentaba el mismo aspecto. En un segundo análisis se decidió incrementar la temperatura en intervalos de 15° hasta un límite de 230°C (temperatura aprox.de fusión PC virgen), para tiempos de 10, 20 y 30 min.

La siguiente tabla indica las temperaturas evaluadas para los tiempos mencionados anteriormente.

**Tabla 2. Ensayos para determinar la temperatura y tiempo de prensado (PC)**

PC-P 100%, Nº de Malla (60)							
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)						
<b>10</b>	140	155	170	185	200	215	230
<b>20</b>	140	155	170	185	200	215	230
<b>30</b>	140	155	170	185	200	215	230

**Tabla 3. Ensayos para determinar la temperatura y tiempo de prensado (PC-P+ Cascarilla)**

PC- P/ Cascarilla de arroz 50/50 (%p/p), Nº de Malla (60)							
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)						
<b>10</b>	140	155	170	185	200	215	230
<b>20</b>	140	155	170	185	200	215	230
<b>30</b>	140	155	170	185	200	215	230

Se encontró que la temperatura y tiempo a la cual el PC-P lograba una óptima modificación en su estructura fue 200°C y 20 min respectivamente.

Una vez encontrada la temperatura, se realizaron ensayos con tamaños de partículas más grandes con el fin de determinar el tiempo de prensado para éstas. Encontrándose que para PC-P malla #40 el tiempo fue de 20 min, y para PC-P malla 16 fue de 30 min.

**2.5.2. Determinación de la presión.** Para determinar la presión se realizaron varias pruebas iniciando con un valor de 40kg/cm<sup>2</sup> aumentando en 20 unidades, hasta un valor de 140 kg/cm<sup>2</sup>. A continuación se presenta una tabla con los valores del primer ensayo, es decir, con una presión de 40kg/cm<sup>2</sup> para diferentes composiciones y tamaños de partícula tanto para el PC-P como para la cascarilla.

**Tabla 4. Ensayos iniciales para determinar la presión de operación.**

PC-P/Cascarilla	Relación (%p/p) (PC/Cascarilla)		
	50/50	60/40	70/30
Nº de Malla	Presión(kg/cm <sup>2</sup> )		
16/16	40	40	40
40/40	40	40	40
60/60	40	40	40

Finalizado los ensayos se observó que para presiones altas el material se exuda e indiscutiblemente se pierde matriz polimérica y fibra, y para presiones muy bajas el material presentaba poros internos. Con las pruebas realizadas se llegó a la conclusión que la presión a la cual el material presentó mejor compactación fue de 100 kg/cm<sup>2</sup>.

**2.5.3 Determinación de la composición y tamaño de partícula.** En esta sección se determinó la influencia de la composición (matriz/fibra) y el tamaño de

partícula en la fabricación del material. En los ensayos descritos en el apartado 2.5.2 se pudo evidenciar que para la presión de operación, los tamaños de partículas indicados y una relación 50/50 (%p/p) matriz-fibra, el material presentaba demasiada carga, lo cual conduce a la generación de materiales muy secos (en términos de ausencia de matriz polimérica). Igualmente se hizo el análisis para la relación 60/40 (%p/p) y 70/30 (%p/p), para poder obtener mejores resultados se incorpora un agente acoplante (acetato de amilo), en esta fase fue necesario hacer mas ensayos combinando diferentes tamaños de partícula para las relaciones señaladas anteriormente, las pruebas se realizaron con y sin acetato, con el fin de determinar la influencia de éste en la formación y estructura del composite.

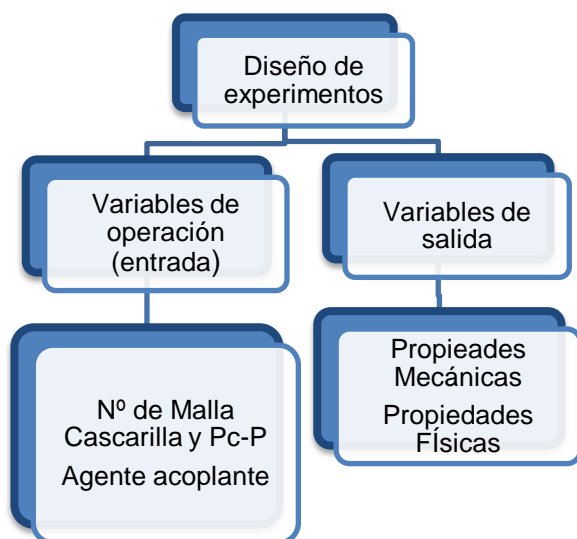
Finalizada las respectivas pruebas se evidenció que la relación 60/40 (%p/p) aún presentaba un exceso de cascarilla. Evaluada la totalidad de las muestras se determinó que la relación (matriz/fibra) que mejor características presentaba en cuanto a cohesión de la fibra y estructura del material fue 70/30 (%p/p). En cuanto al tamaño de partícula se observó que la cascarilla más fina con número de malla 60 ocasiona que el material se desmorone y disgregue fácilmente al contacto. Por ende estas muestras fueron descartadas.

## **2.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

El diseño experimental se desarrolla teniendo en cuenta las variables de operación (entrada) y las variables de salida del proceso, como se muestra en la Figura 5.

Hipótesis: Se comprobará que el material resultante (con y sin agente acoplante) presenta mejores propiedades mecánicas y físicas que el PC-P sin reforzar.

**Figura 5. Esquema general del diseño de experimentos para la obtención del composite.**



**Fuente: Autores**

**Tabla 5. Diseño de experimentos**

Variables de diseño		
Exp	Nº de Malla PC-P / Cascarilla	Agente acoplante
1	16/16	Con
2	16/16	Sin
3	16/40	Con
4	16/40	Sin
5	40/40	Con
6	40/40	Sin
7	40/16	Con
8	40/16	Sin

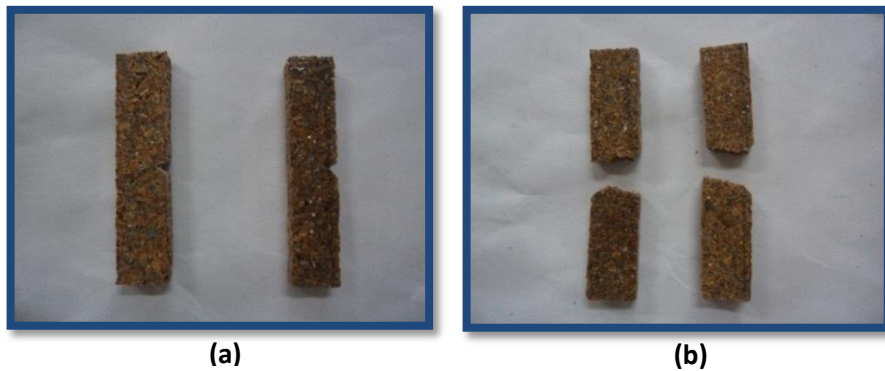
En la Tabla 5 se muestra el diseño de experimentos. De cada uno de los experimentos (8) se requieren 10 probetas para la realización de las pruebas físicas y mecánicas, por lo tanto en total son 80 experimentos.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

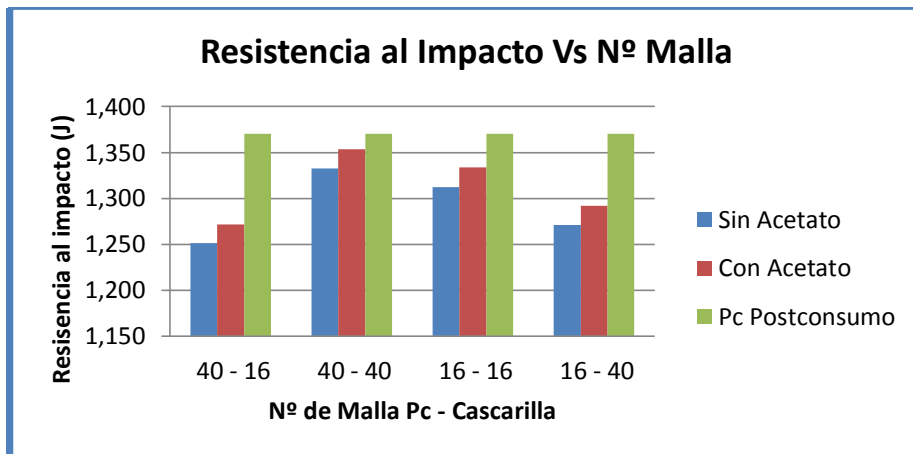
#### 3.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS

**3.1.1. Prueba de impacto izod.** En la figura 6, se puede apreciar las probetas correspondientes al ensayo de impacto. En el anexo E, se especifican los datos tomados al momento de la prueba.

**Figura 6. Probetas para el ensayo de impacto. (a) Probetas antes del ensayo; (b) probetas después del ensayo.**



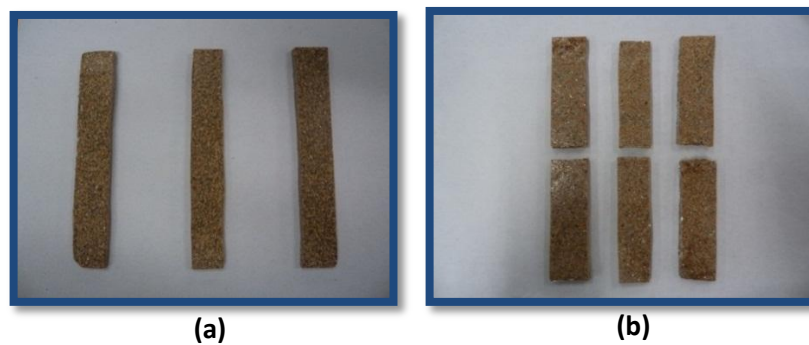
**Grafica 1. Datos promedio obtenidos en prueba de impacto. Influencia del número de malla.**



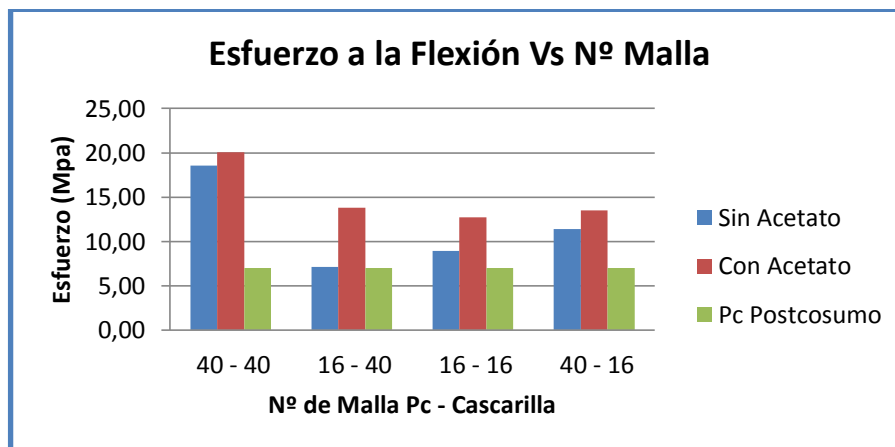
A mayor número de malla y presencia de acetato se observa que aumenta el valor de la resistencia al impacto, pero realizando una comparación general del composite con el PC-P se observa que esta resistencia disminuye, esto indica que la incorporación de la fibra y acetato no mejora dicha resistencia.

**3.1.2. Prueba de flexión.** En la figura 7., se puede apreciar las probetas correspondientes al ensayo de flexión. En el anexo F, se especifican los datos tomados al momento de la prueba.

**Figura 7. Ensayo de flexión. (a) Probetas antes de la prueba; (b) Probetas después del ensayo.**



**Grafica 2. Datos promedio obtenidos en prueba de flexión. Influencia del número de malla.**



A mayor número de malla y la utilización de agente acoplante, mayor es el esfuerzo a la flexión. Se observa que esta propiedad se mejora con la introducción de fibras más cortas (Malla 40) a la matriz, se produce una mayor superficie de contacto entre fibra y matriz, obteniéndose un material capaz de deformarse más, antes de romperse.

Realizando una comparación con los aglomerados comerciales (fibra aserrín), los cuales poseen una resistencia a la flexión alrededor de 173,4 Mpa, se observó que para este caso dicha propiedad fue menor, esto nos indica que los aglomerados comerciales son más flexibles [20].

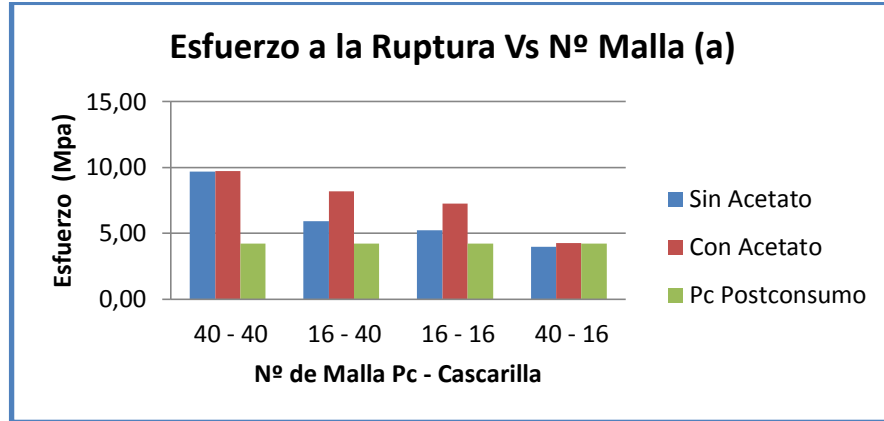
**3.1.3 Ensayo de tensión.** Como se especifica en la sección 3.4.3, realizó el respectivo ensayo en la figura 8, se puede observar las probetas de dicha prueba. En el anexo G, se listan los resultados obtenidos para este ensayo.

**Figura 8. Probetas para el ensayo de tensión. (a) Probetas antes del ensayo; (b) Probetas después del ensayo.**



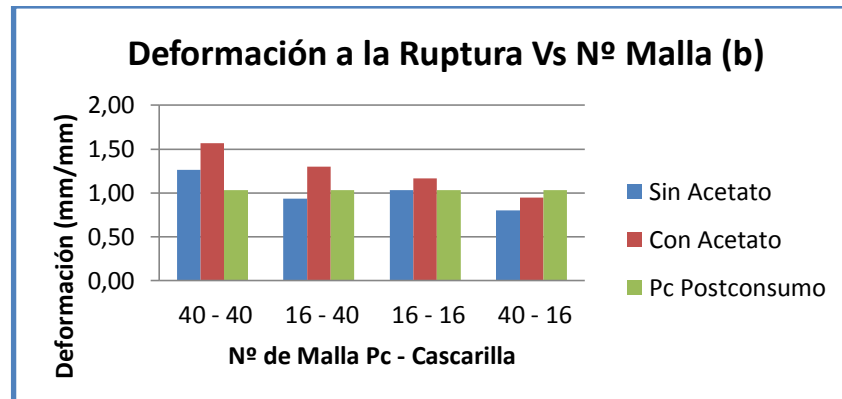
A partir de las propiedades que se obtienen del ensayo de tensión como el modulo elástico, esfuerzo y deformación a la ruptura. Se realizaron comparaciones teniendo en cuenta: El material PC-P 100%, el N<sup>0</sup> de malla y la utilización del acoplante (acetato de amilo). De acuerdo a esto, se obtienen promedios que se ilustran en las siguientes figuras.

**Grafica 3. Resumen de los promedios obtenidos para las propiedades de tensión respecto al No. de malla. (a) esfuerzo a la ruptura. (b) deformación a la ruptura. (c) modulo elástico.**

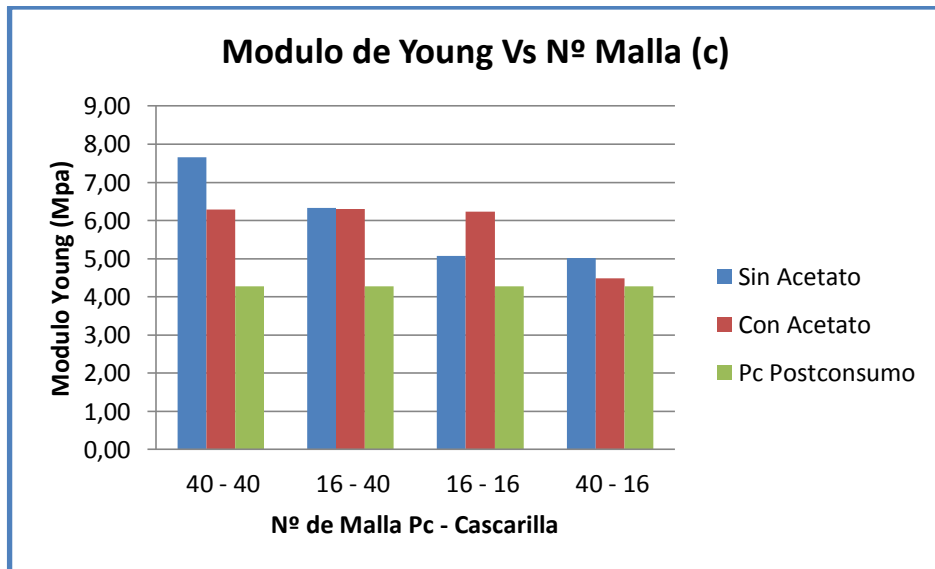


La influencia del tamaño de partícula en el esfuerzo a la ruptura se puede concluir que a menor tamaño de partícula tanto de PC-P como de cascarilla el material se vuelve más compacto disminuyendo así la probabilidad de encontrar defectos en el material. Se comprobó que el esfuerzo de ruptura aumenta al incorporar la fibra y el agente acoplante al PC-P.

Haciendo una comparación con los aglomerados comerciales (fibra aserrín), los cuales poseen una resistencia a la tracción alrededor de 2,55Mpa, se observó que para este caso dicha propiedad fue mayor [20].



Cuando el número de malla aumenta el número de puntos de anclaje entre fibra y PC-P aumenta, esto hace que el material soporte deformaciones más altas; por otra parte al incorporar acetato de amilo, el material soporta deformaciones más elevadas en comparación con el material sin acetato el cual se deforma y se rompe con mayor facilidad.



Para el módulo de elasticidad se tiene que al aumentar el número de malla aumenta la rigidez del material debido a la reducción de espacios vacíos y a las características de rigidez de la fibra. Se pudo comprobar que la presencia de la fibra y acetato en todos los casos aumenta el módulo de elasticidad respecto al PC-P.

Comparando con los aglomerados comerciales (fibra aserrín), los cuales poseen un modulo de Young alrededor de 3,57 Mpa, se observó que para este caso dicha propiedad fue mayor, esto indica que el material de estudio es más rígido [20].

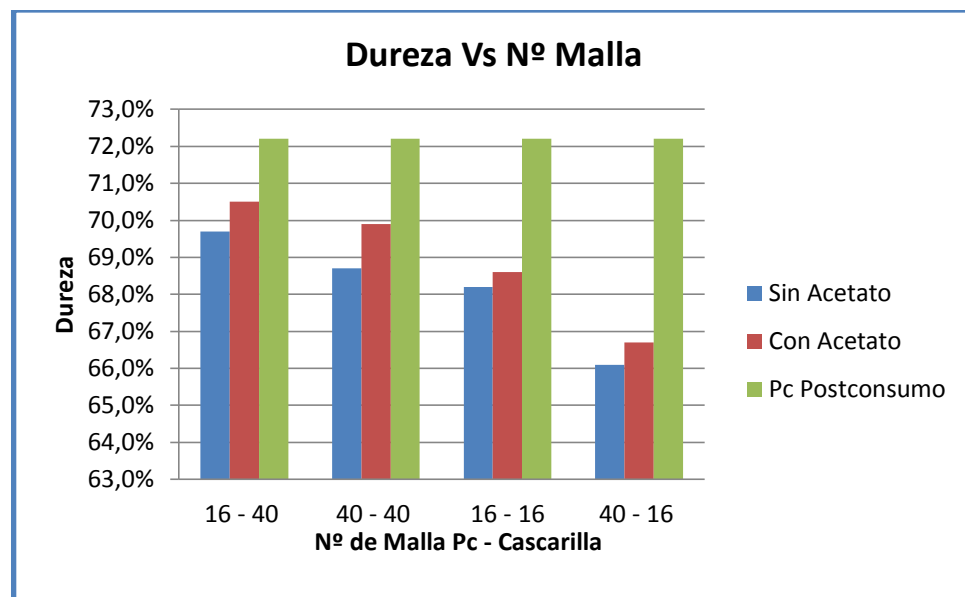
**3.1.4 Prueba de dureza.** Como se describió en la seccion 3.4.4, se realizó una prueba de dureza al material, para este ensayo se empleó un durómetro Shore

tipo D, éste toma una escala desde 1 hasta 100 Shore D, la Imagen 7 indica como se llevó a cabo el ensayo.

**Figura 9. Prueba de dureza**



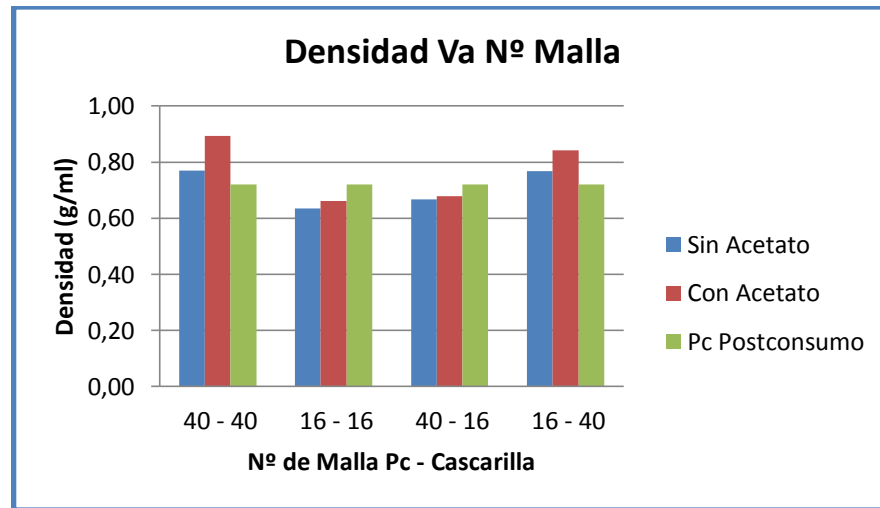
**Grafica 4. Datos promedio obtenidos en prueba de dureza. Influencia del número de malla.**



Se observa que la dureza en todos los casos disminuye con respecto al PC-P, debido a la presencia del reforzante. Al aumentar el número de malla para la cascarilla y la utilización del agente acoplante dicha dureza aumenta, gracias a su buena compactación.

**3.1.5 Prueba de densidad.** La prueba de densidad se realizó basada en el principio de Arquímedes tal como se describió en la sección 3.4.5. En el anexo H se detallan los resultados de este ensayo.

**Grafica 5. Datos promedio obtenidos en prueba de densidad. Influencia del número de malla.**

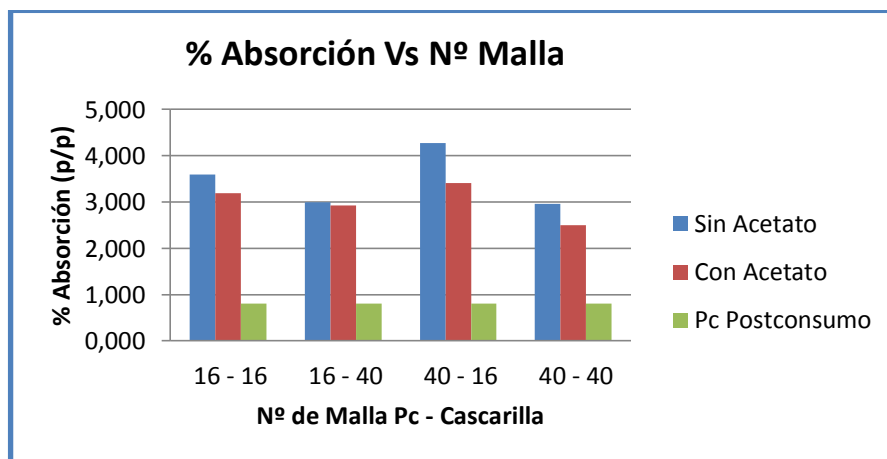


La densidad aumenta a medida que el número de malla aumenta tanto para PC-P y cascarilla, esto debido a que el tamaño de partícula es más pequeño y reduce los espacios vacíos presentes en el material; la utilización de acetato de amilo aumenta la densidad ya que este proporciona mayor compactación, una característica esencial de los materiales compuestos es que tengan una baja densidad. Con respecto al PC-P la variación es muy baja.

Realizando una comparación con los aglomerados comerciales (fibra aserrín), los cuales tienen una densidad alrededor de 0,33 g/ml, se observó que para el material de estudio dicha propiedad fue mayor, ya que la cascarilla tiene una densidad de 0,65 g/ml comparada con la del aserrín 0,155 g/ml [20].

**3.1.6 Prueba de absorción de agua.** Como se definió en el numeral 3.4.6, se realizó una prueba de absorción de agua sumergiendo el material en agua durante 24 horas. En el anexo I, se muestran los resultados obtenidos. A continuación, la grafica 6, muestra la relación entre el índice de absorción de agua y el N<sup>o</sup>. de malla.

**Grafica 6 Datos promedio obtenidos en prueba de absorción de agua.  
Influencia del número de malla.**



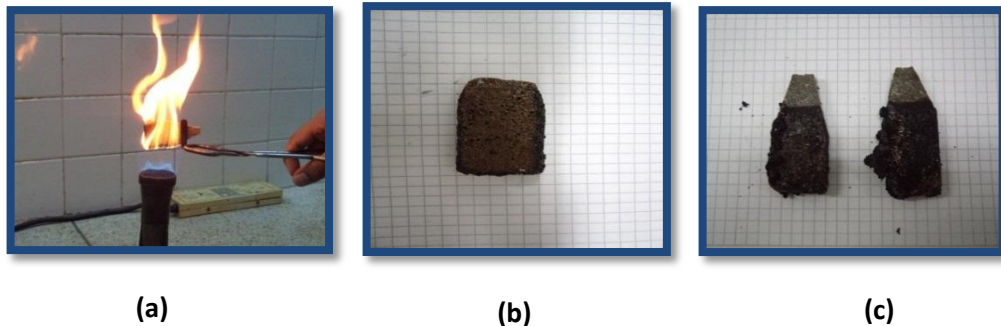
A mayor número de malla de PC-P y cascarilla, se disminuye la cantidad de agua absorbida debido a que menor tamaño se disminuye la posibilidad de que se presente espacios vacíos en la estructura del material. La utilización de acetato hace que la cantidad de agua absorbida disminuya, debido a que este hace que las partículas estén mejor unidas. Cabe mencionar que el PC es hidrófugo, en este caso el porcentaje de absorción es 0.81% el cual es un valor bajo.

Comparando con los aglomerados comerciales (fibra aserrín), los cuales poseen una absorción alrededor de 37,5%, se observó para este caso una absorción menor, gracias a la propiedad hidrófoba del PC-P y buen acoplamiento fibra-matriz[20].

**3.1.7 Test de llama.** El material se expuso de forma directa a la acción de la llama, la Imagen8ilustra el ensayo elaborado. En las pruebas realizadas se observó que las muestras presentaron una llama de combustión fuliginosa, es decir que produce hilos de hollín, auto extinguiible al momento de retirar de la fuente de ignición (propiedad de la cascarilla de arroz). El color de la llama fue naranja para todos los especímenes y el olor generado por estos es similar a cuando se quema plástico. Por otra parte en este ensayo se evidenció que el composite no arde de forma inmediata, debido a quela llama tarda aproximadamente 40 segundos en encenderse, la llama se extinguió sin propagación a lo largo de la probeta.

Respecto al ensayo que se realizó con la muestra del PC-P (100%) se observó que este se enciende de manera inmediata provocando así la formación de burbujas, obteniéndose un material poroso y carbonizado al final de la prueba.

**Figura 10. (a) Prueba de llama; (b) probeta (PC-P/cascarilla) al finalizarla prueba de llama; (c) muestras de PC-P100% al finalizarla prueba de llama**

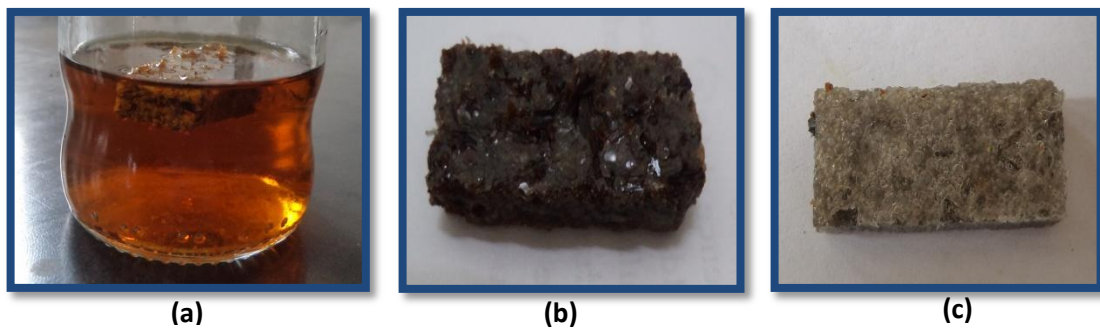


**3.1.8 Degradación Química.** Se utilizaron probetas de PC-P para exponerlas a los mismos reactivos usados para el composite con el fin de evaluar el ataque tanto para el composite como para el PC-P. A continuación se presenta de manera general el ataque que ocasionaron.

En medio básico, las matrices poliméricas muestran una suficiente resistencia al ataque, permaneciendo inalteradas, hecho contrario ocurre cuando el material (matriz/ fibra) es sometido al ataque por una base, la degradación de las fibras por parte de las soluciones alcalinas se debe a la hidrólisis básica que puede sufrir la celulosa (componente presente en la cascarilla de arroz) [21].

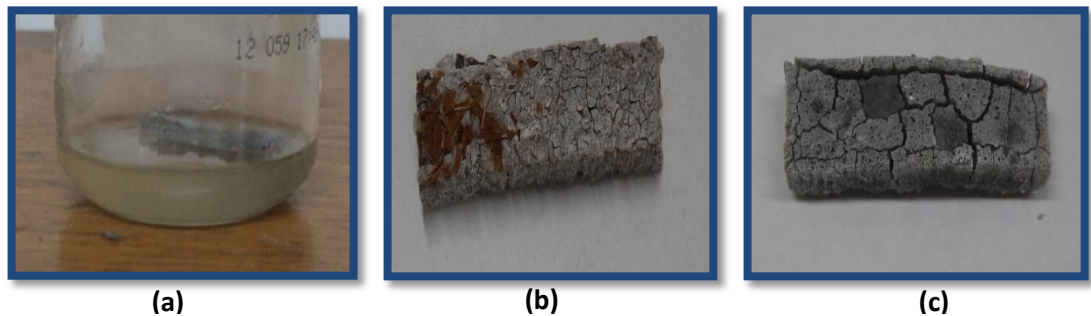
La lignina se encuentra en la pared celular de varios tipos de tejidos vegetales, entre ellos la cascarilla de arroz [22]. La lignina reacciona con la soda cáustica y forma compuestos solubles [23]. La Imagen9 prueba que al provocarse la dilución de la lignina la solución toma un color oscuro. Las muestras al ser sometidas a NaOH pierden consistencia y cohesión de las partículas provocando así la aparición de poros en el material.

**Figura 11. Prueba de resistencia química utilizando NaOH. (a) PC-P/ Cascarilla color de la solución; (b) PC-P/ Cascarilla superficie del material; (c) PC-P superficie del material.**



El tolueno es un compuesto aromático que no es compatible con el policarbonato, en la Imagen 10 se observa, como esta sustancia afecta la estructura y apariencia física del composite y del PC-P.

**Figura 12. Prueba de resistencia química utilizando tolueno. (a) PC-P/Cascarilla color de la solución; (b) PC-P/Cascarilla superficie del material; (c) PC-P superficie del material.**



Las muestras al ser sometidas al contacto con ésta sustancia presentan grietas y un daño total en la superficie, se pudo observar un deterioro en su estructura tanto interna como externa, y el color formado por la solución se tornó gris opaco.

En cuanto a los ácidos, es importante recordar que el ácido sulfúrico es considerado como un ácido fuerte, en consecuencia, los materiales son más susceptibles a ser atacados por este. En los ensayos realizados se observó que el ácido no afectó a ninguno de los materiales (ni a la matriz polimérica, ni a los composites), por lo cual el PC cumplió una función de protección del material evitando que la fibra tuviera contacto con este ácido.

Las muestras evaluadas en este ensayo no presentaron alteraciones en su estructura, la solución no se tornó de ningún color, las imágenes evidencian que no hay deterioro físico o químico considerable.

También se realizaron pruebas con sustancias como tiner, hipoclorito de sodio y metanol, con el fin de observar el comportamiento del composite y de la matriz polimérica ante estas. Se sometieron las muestras al contacto con estos agentes químicos arrojando de manera general, que el material presentaba fisuras en su

superficie conllevando a la presencia de poros. Así mismo se pudo evidenciar desprendimiento de material y pérdida de éste.

En el anexo J, se presenta más detalladamente la influencia de estas sustancias sobre la estructura de la matriz polimérica y las muestras matriz/fibra (70/30%p/p) con y sin el agente acoplante (acetato de amilo) y teniendo en cuenta los tamaños de partículas mencionados en el diseño de experimentos.

#### 4. CONCLUSIONES

Se logró obtener un material compuesto, a partir de materiales de desecho, como la cascarilla de arroz y el PC-P (CD's), e incorporando acetato de amilo, con características físico-mecánicas específicas, resistencia a la humedad y con resistencia parcial a algunos agentes químicos, de bajo costo y útil en aplicaciones como: mueblería, divisiones, escritorios y estantes de librerías.

Para la elaboración del composite las mejores condiciones de operación fueron: Temperatura 200°C, presión 100kg/cm<sup>2</sup> y tiempo de prensado 20 min para una proporción matriz/fibra de 70/30 %p/p y una distribución de tamaño con malla N<sup>o</sup>. 40 tanto para el PC-P como la cascarilla, con y sin agente acoplante.

La granulometría influyó de manera considerable en la estructura, propiedades físicas y mecánicas del material. Con la malla N<sup>o</sup> 60 el material era quebradizo, en caso contrario la malla N<sup>o</sup> 40 presentó mejor comportamiento en las pruebas mecánicas y químicas, esto debido a su adecuada compactación.

Se comprobó que el agente acoplante (acetato de amilo) influye de manera significativa en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material ya que aumento la adhesión de la fibra con la matriz.

## 5. RECOMENDACIONES

Para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto reforzado con cascarilla de arroz y matriz de PC-P se recomienda realizar un estudio con más agentes acoplantes con el fin de obtener el apropiado y establecer la proporción ideal de este, para lograr incrementar la fuerza de atracción entre el refuerzo y la matriz.

Con el fin de evitar que el composite quede con una estructura arenosa y con un grado de compactación no adecuado, se recomienda secar la cascarilla de arroz , ya que el agua puede llegar a introducirse entre las partículas de la fibra y al estar en contacto con la matriz polimérica, que tiene un comportamiento hidrófugo, impide que estas se adhieran.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COMPROMISO EMPRESARIAL PARA EL RECICLAJE. PLÁSTICOS. Introducción [en línea]. 12 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://www.cempre.org.co/Documentos/Ficha%20PI%C3%A1stico.pdf>>
- [2] CORDOBA, Carlos; MERA Jenny; MARTINEZ Diego; RODRIGUEZ, Jesús. Materiales Reforzados: Aprovechamiento De Propileno Y Polietileno De Alta Densidad Reciclados, Reciclados Con Fibra Vegetal, Tetera (*StromantheStromathoides*). Revista Iberoamericana De Polímeros. Universidad de Nariño. Pasto 2010.
- [3] GUTIÉRREZ, Santiago. Efecto de Tamaño de Materiales Poliméricos Reforzados con Fibras Cortas de Vidrio. Madrid, 2002, 45 p. Tesis (Titulación Ingeniero de Materiales). Universidad Politécnica de Madrid. Facultad Físico-Química. Departamento de Estudios Técnicos, Canales y Puertos.
- [4] GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales, procesos y Sistemas. 1ª Edición. México: Pearson Prentice Hall. 1997. 234 p.
- [5] CALLISTER, William D. Introducción a la Ingeniería de los Materiales. Segunda Edición. España: Reverté. 2002. 550p.
- [6] SIERRA AGUILAR, Jaider. Alternativas de Aprovechamiento de la Cascarilla de Arroz. Colombia, 2009, 29p. Tesis (Titulación Ingeniero Agrícola). Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería .Departamento de Ingeniería Agrícola.
- [7] Tecnologías de los Plásticos. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/policarbonato.html>>
- [8] Materiales Plásticos. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://materialesplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>>
- [9] KALPAKJIAN Serope y SCHMID Steven. Cap. 9. Materiales compuestos: estructura, propiedades generales y aplicaciones. Manufactura, ingeniería y tecnología. México 2002. Pearson Educación. Cuarta edición. 227 p.

- [10] Red De Intercambio De Información Química. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <[http://www.estis.net/sites/cien-bo/default.asp?site=cien-bo&page\\_id=633335C2-AEAA-4C08-BA46-CF70C1D85444](http://www.estis.net/sites/cien-bo/default.asp?site=cien-bo&page_id=633335C2-AEAA-4C08-BA46-CF70C1D85444)>
- [11] JIMENEZ ESCOBAR, Ana María. A prender Bombillos con Cascarilla de Arroz: Potencial energético. En: Vol. 12 No. 150. (Nov 2011); p. 11.
- [12] Reciclaje de CDs y DVDs. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://www.terra.org/articulos/art01138.html>>
- [13] ASKELAND, Donald R. Cap. 6. Ensayos y propiedades mecánicas. Ciencia e ingeniería de los materiales. México. International Thomson Editores. Tercera edición. 130 p.
- [14] Ensayo de impacto. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-impacto.html>>
- [15] Ensayo de flexión. 24 de agosto de 2012. Disponible en <[http://www.geocities.ws/irresistible\\_en\\_linea/ensayos/flexion.html](http://www.geocities.ws/irresistible_en_linea/ensayos/flexion.html)>
- [16] Ensayo de tracción en materiales. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Tension-Test.aspx>>
- [17] Ensayos de dureza. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza>>
- [18] Principio de Arquímedes. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/9440806/Principio-de-flotacion-de-Arquimedes.html>>.
- [19] Plásticos Determinación de la absorción de agua. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://es.scribd.com/doc/50099471/NTC1772>>
- [20] MANZANO SOSA, Adelaida. Aglomerados de partículas con fibras de aserrín. Colombia, 2000, 18p. Tesis (ingeniero de materiales). Universidad del valle. Facultad de ingeniería.
- [21] ANÓNIMO. Medios que atacan la matriz polimérica y materiales compuestos. Planificación de la investigación pdf.

<<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15191/tesisUPV3783.pdf?sequence=1>>

[22] NUÑEZ, Carlos. PULPA Y PAPEL I. 7-Química de la Madera.7.3-Lignina. En: Pulpa y papel I. Argentina, 2008. p. 66. Disponible en: <[www.cenunez.com.ar](http://www.cenunez.com.ar) >

[23] Papeles venezolanos. 28 de agosto de 2012 .Disponible en <<http://www.paveca.com/planta-de-pulpa/blanqueo>>

## BIBLIOGRAFIA

ANÓNIMO. Medios que atacan la matriz polimérica y materiales compuestos. Planificación de la investigación pdf. <<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15191/tesisUPV3783.pdf?sequence=1>>

ASKELAND, Donald R. Cap. 6. Ensayos y propiedades mecánicas. Ciencia e ingeniería de los materiales. México. International Thomson Editores. Tercera edición. 130 p.

CALLISTER, William D. Introducción a la Ingeniería de los Materiales. Segunda Edición. España: Reverté. 2002. 550p.

COMPROMISO EMPRESARIAL PARA EL RECICLAJE. PLÁSTICOS. Introducción [en línea]. 12 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://www.cempre.org.co/Documentos/Ficha%20PI%C3%A1stico.pdf>>

CORDOBA, Carlos; MERA Jenny; MARTINEZ Diego; RODRIGUEZ, Jesús. Materiales Reforzados: Aprovechamiento De Propileno Y Polietileno De Alta Densidad Reciclados, Reciclados Con Fibra Vegetal, Tetera (*Stromanthe Stromathoides*). Revista Iberoamericana De Polímeros. Universidad de Nariño. Pasto 2010.

Ensayos de dureza. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza>>

Ensayo de flexión. 24 de agosto de 2012. Disponible en <[http://www.geocities.ws/irresistible\\_en\\_linea/ensayos/flexion.html](http://www.geocities.ws/irresistible_en_linea/ensayos/flexion.html)>

Ensayo de impacto. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-impacto.html>>

Ensayo de tracción en materiales. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Tension-Test.aspx>>

GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales, procesos y Sistemas. 1ª Edición. México: Pearson Prentice Hall.1997.234 p.

GUTIÉRREZ, Santiago. Efecto de Tamaño de Materiales Poliméricos Reforzados con Fibras Cortas de Vidrio. Madrid, 2002, 45 p.Tesis (Titulación Ingeniero de Materiales).Universidad Politécnica de Madrid. Facultad Fisico-Química. Departamento de Estudios Técnicos, Canales y Puertos.

JIMÉNEZ ESCOBAR, Ana María. A prender Bombillos con Cascarilla de Arroz: Potencial energético. En: Vol. 12 No. 150. (Nov 2011); p. 11.

KALPAKJIAN Serope y SCHMID Steven. Cap. 9. Materiales compuestos: estructura, propiedades generales y aplicaciones. Manufactura, ingeniería y tecnología. México 2002. Pearson Educación. Cuarta edición.227 p.

MANZANO SOSA, Adelaida. Aglomerados de partículas con fibras de aserrín. Colombia, 2000, 18p.Tesis (ingeniero de materiales).Universidad del valle. Facultad de ingeniería.

Materiales Plásticos. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://materialesplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>>

NUÑEZ, Carlos. PULPA Y PAPEL I. 7-Química de la Madera.7.3-Lignina. En: Pulpa y papel I. Argentina, 2008. p. 66. Disponible en: <[www.cenunez.com.ar](http://www.cenunez.com.ar) >

Papeles venezolanos. 28 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.paveca.com/planta-de-pulpa/blanqueo>>

Plásticos Determinación de la absorción de agua. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://es.scribd.com/doc/50099471/NTC1772>>

Principio de Arquímedes. 24 de agosto de 2012. Disponible en <<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/9440806/Principio-de-flotacion-de-Arquimedes.html>>

Reciclaje de CDs y DVDs. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://www.terra.org/articulos/art01138.html>>

Red De Intercambio De Información Química. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <[http://www.estis.net/sites/cien-bo/default.asp?site=cien-bo&page\\_id=633335C2-AEAA-4C08-BA46-CF70C1D85444](http://www.estis.net/sites/cien-bo/default.asp?site=cien-bo&page_id=633335C2-AEAA-4C08-BA46-CF70C1D85444)>

SIERRA AGUILAR, Jaider Alternativas de Aprovechamiento de la Cascarilla de Arroz. Colombia, 2009, 29p. Tesis (Titulación Ingeniero Agrícola). Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agrícola.

Tecnologías de los Plásticos. 24 de septiembre de 2012. Disponible en <<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/policarbonato.html>>

## ANEXOS

### Anexo A. Composición química de la cascarilla de arroz.

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
<b>Azufre</b>	0,12-1,14%	<b>Nitrógeno</b>	0,50-0,60%
<b>Hierro</b>	200-400 ppm	<b>Fosforo</b>	0,08-0,10%
<b>Manganeso</b>	200-800 ppm	<b>Potasio</b>	0,20-0,40%
<b>Cobre</b>	3-5 ppm	<b>Calcio</b>	0,10-0,15%
<b>Zinc</b>	15-30 ppm	<b>Magnesio</b>	0,10-0,12%
<b>Boro</b>	4-10 ppm	<b>Fibra(celulosa)</b>	39,05%
<b>Cenizas</b>	12-13%	<b>Proteínas</b>	3,56%
<b>Sílice</b>	10-12%	<b>Lignina</b>	22,80%

### Anexo B. Parámetros y propiedades de la cascarilla de arroz.

Características físicas	Valor promedio	unidad
<b>Densidad a granel</b>	100	kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente</b>	650	kg/m <sup>3</sup>
<b>Retención de humedad</b>	0.10- 0.12	L/L
<b>Poder calorífico bruto</b>	3650	Kcal/kg
<b>Conductividad térmica</b>	0.03605	W/m*k
<b>Peso</b>	3.65	mg
<b>Solubilidad en agua</b>	Insoluble	

### Anexo C. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del PC

Propiedad	Valor	Unidad
<b>Densidad</b>	1.20	g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción de agua a Ta/24h</b>	0,1	% (p/p)
<b>Temperatura de fusión</b>	250	°C
<b>Temperatura de transición vítrea</b>	152	°C
<b>Temperatura de reblandecimiento</b>	115-125	°C
<b>Alargamiento a la rotura</b>	100-150	%
<b>Resistencia a la tracción</b>	55-75	MPa
<b>Conductividad térmica</b>	0.21	W/m °C
<b>Modulo de elasticidad</b>	2.4	GPa

## Anexo D. Propiedades físicas del acetato de amilo.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	0.87	g/cm <sup>3</sup>
Punto de ebullición	149	°C
Solubilidad en agua	2-10	g/l
Presión de vapor	0.93	Kpa
Punto de ignición	375	°C

## Anexo E. Prueba de impacto

PC-P malla #16 proporción 70/30%p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	16	110	1.36	0.068	1.292
2	16	110	1.36	0.068	1.292
3	16	110	1.36	0.068	1.292
4	16	109	1.43	0.054	1.374
<b>Promedio</b>					1.312

PC-P malla #16 proporción 70/30%p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	40	110	1.36	0.068	1.292
2	40	110	1.36	0.068	1.292
3	40	110	1.36	0.068	1.292
4	40	111	1.29	0.082	1.208
<b>Promedio</b>					1.271

PC-P malla #40 proporción 70/30%p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	40	110	1.36	0.068	1.292
2	40	110	1.36	0.068	1.292
3	40	109	1.43	0.054	1.374
4	40	109	1.43	0.054	1.374
<b>Promedio</b>					1.333

PC-P malla #40 70/30%p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	16	110	1.36	0.068	1.292
2	16	110	1.36	0.068	1.292
3	16	111	1.29	0.082	1.210
4	16	111	1.29	0.082	1.210
<b>Promedio</b>					1.251

PC-P malla #16 65,27%p/p; acetato 6,84 %p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	16	110	1.36	0.068	1.292
2	16	110	1.36	0.068	1.292
3	16	109	1.43	0.054	1.376
4	16	109	1.43	0.054	1.376
<b>Promedio</b>				1.334	

PC-P malla #16 65,46% %p/p; acetato 6,48 %p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	40	109	1.43	0.054	1.376
2	40	110	1.36	0.068	1.292
3	40	110	1.36	0.068	1.292
4	40	111	1.29	0.082	1.208
<b>Promedio</b>					1.292

PC-P malla #40 63,25 %p/p; acetato 9,54 %p/p					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	40	110	1.36	0.068	1.292
2	40	109	1.43	0.054	1.374
3	40	109	1.43	0.054	1.374
4	40	109	1.43	0.054	1.374
<b>Promedio</b>					1.354

PC-P malla #40 63,25 %p/p; acetato 9,14 (%p/p)					
Ensayo	# Malla Cascarilla	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	16	110	1.36	0.068	1.292
2	16	110	1.36	0.068	1.292
3	16	110	1.36	0.068	1.292
4	16	111	1.29	0.082	1.210
<b>Promedio</b>					1.272

PC-P 100%				
Ensayo	ángulo	E impacto(J)	E pérdidas totales (J)	Resistencia al impacto (J)
1	109	1.50	0.054	1.442
2	109	1.43	0.054	1.374
3	109	1.43	0.054	1.374
4	110	1.36	0.068	1.292
<b>Promedio</b>				1.371

## Anexo F. Prueba de flexión

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
	<b>Sin acetato</b>			
Granulometría	16/16	40/40	16/40	40/16
l=longitud entre soportes (mm)	100	100	100	100
b=Ancho de la muestra(mm)	22.37	22.62	21.79	22.04
h=espesor de la muestra (mm)	6.74	4.79	7.54	4.91
Fuerza máxima (N)	60172	64696.33	61250	41209
Resistencia a la flexión (MPa)	8950.54	18561.06	7104.26	11413.92

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
	Con acetato			
Granulometría	16/16	40/40	16/40	40/16
l=longitud entre soportes (mm)	100	100	100	100
b=Ancho de la muestra(mm)	22.44	22.48	20.77	21.79
h=espesor de la muestra (mm)	6.29	5.00	6.38	5.93
Fuerza máxima (N)	75084.33	75002.67	77877.33	69024.67
Resistencia a la flexión (MPa)	12719.59	2055.11	13807.71	13519.35

### Anexo G. Resultados prueba de tensión

(70%p/p matriz; 30 %p/p fibra), N<sup>0</sup> de malla 40-40

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	1.3	9.47	7.28
2	1.2	9.48	7.90
3	1.3	10.15	7.81
<b>Promedio</b>	1.266	9.69	7.66

(70%p/p matriz; 30 %p/p fibra), N<sup>0</sup> de malla 16-40

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	0.8	4.68	5.84
2	0.9	5.98	6.64
3	1.1	7.18	6.52
<b>Promedio</b>	0.93	5.94	6.34

(70%p/p matriz; 30 %p/p fibra), N<sup>0</sup> de malla 16-16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	0.9	4.66	5.18
2	0.9	4.54	5.05
3	1.3	6.50	5.00
<b>Promedio</b>	1.0	5.23	5.07

(70%p/p matriz; 30 %p/p fibra), N<sup>0</sup> de malla 40-16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	0.6	3.17	5.28
2	1	4.75	4.75
<b>Promedio</b>	0.8	3.96	5.02

(64.81%p/p matriz; 27.41 %p/p fibra), con acetato de amilo (7.78 %p/p), N<sup>0</sup> de malla 40-40

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	1.8	9.84	5.47
2	1.5	9.47	6.31
3	1.4	9.94	7.10
<b>Promedio</b>	1.566	9.7512	6.29

(64.85%p/p matriz; 29.22 %p/p fibra), con acetato de amilo (5.93 %p/p), N<sup>0</sup> de malla 16-40

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	1.3	8.19	6.30

(64.62%p/p matriz; 29.11 %p/p fibra), con acetato de amilo (6.27 %p/p), N<sup>o</sup> de malla 16-16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	1.0	6.47	6.47
2	1.3	7.66	5.89
3	1.2	7.60	6.34
<b>Promedio</b>	1.17	7.25	6.23

(65.07%p/p matriz; 29.32 %p/p fibra), con acetato de amilo (5.61%p/p), N<sup>o</sup> de malla 40-16

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	1.0	4.33	4.33
2	0.9	4.17	4.63
<b>Promedio</b>	0.95	4.25	4.48

Muestra. PC-P 100%

PROBETA	DEFORMACION A LA RUPTURA (m/m)	ESFUERZO A LA RUPTURA $\sigma$ (MPa)	MODULO DE YOUNG (MPa)
1	1.4	4.55	3.25
2	0.9	3.93	4.37
3	0.8	4.17	5.21
<b>Promedio</b>	1.03	4.22	4.28

## Anexo H. Prueba de densidad

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)							
	Sin acetato				Con acetato			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>
Densidad promedio (g/ml)	0.64	0.94	0.58	0.68	0.66	0.89	0.69	0.64

## Anexo I. Prueba de absorción de agua

PC-P malla #16 Proporción (70/30%p/p)			
# Malla Cascarilla	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	% Absorción
16	1.67	1.73	3.593
40	1.00	1.03	3.000

PC-P malla 40 Proporción 70/30%p/p			
# Malla Cascarilla	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	% Absorción
16	1.87	1.95	4.278
40	1.69	1.74	2.959

PC-P Malla 16 (70%)				
% acetato	# Malla - % Cascarilla	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	% Absorción
6.84	16 - 27,95	1.88	1.94	3.191
6.48	40 - 28,05	1.71	1.76	2.924

PC-P Malla 40(70%)				
% acetato	# Malla - % Cascarilla	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	% Absorción
9.64	16 - 27,25	2.35	2.43	3.404
9.64	40 - 27,11	2.00	2.05	2.500

PC-P (100%)		
Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	% Absorción
2.47	2.49	0.810

## Anexo J. Prueba de resistencia química

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
	Sin acetato			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>
<b>NaOH</b>	Leve daño en la superficie, la estructura presentó porosidad	La muestra presentó un ligero ataque en el que se debilitó el material	la muestra presentó grietas en su estructura, provocando una disgregación del material	la muestra presentó grietas en su estructura pero no hubo pérdida de material significativa
<b>Color</b>	Amarillo con tendencia a marrón	Amarillo con tendencia a marrón	Marrón oscuro	Amarillo con tendencia a marrón

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
	Con acetato			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>
<b>NaOH</b>	Daño más acentuado, con presencia de poros en la superficie, pero manteniendo su estructura	más con La muestra parcialmente, presentó un agrietamiento provocando desintegración material.	flotó leve sin embargo la muestra presentó porosidad del	Hubo daño en la superficie, la muestra presentó porosidad
<b>Color</b>	Amarillo con tendencia a marrón	la solución presentó un color amarillo claro	presentó un color amarillo claro	Amarillo con tendencia a marrón

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)							
	Sin acetato				Con acetato			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	No se observó ningún cambio.							

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)							
	Sin acetato				Con acetato			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>
<b>Tiner</b>	Se presentó un daño leve en la superficie, se observó desprendimiento de material, la solución se tornó amarilla.							
Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)							

		<b>Sin acetato</b>			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>	
<b>Tolueno</b>	Se observó daño en la superficie, se evidenció la presencia de grietas provocando así el desmorono del material	Hubo daño en la superficie, no se observó desprendimiento de material	Hubo daño en la superficie, se observó la presencia de grietas que conllevaron a la rotura del material	Hubo daño en la superficie, se observó la presencia de grietas provocando así el desmorono del material	
<b>Color Solvente</b>	Todas las muestras presentaron un color blanco grisáceo				

Muestra		Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
		<b>Con acetato</b>			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>	
<b>Tolueno</b>	Leve daño en la superficie, no hubo desprendimiento de material, no se observó presencia de grietas.	Hubo daño en la superficie, no se observó desprendimiento de material, el presentó algunas grietas.	Poco daño en la superficie, se observó desprendimiento de material	Hubo daño en la superficie, se observó la presencia de grietas provocando así el desmorono del material	
<b>Color Solvente</b>	Todas las muestras presentaron un color blanco grisáceo				

Muestra		Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
		<b>Sin acetato</b>			
Granulometría	<b>16/16</b>	<b>40/40</b>	<b>16/40</b>	<b>40/16</b>	
<b>NaClO</b>	Daño en la superficie, evidenció presencia de poros y grietas	Leve daño en la superficie, se observó presencia de poros en la estructura.	Se observó la presencia de poros, algunas grietas	Hubo daño en la superficie, presenta porosidad, al contacto el material se desprendía	
<b>Aspecto físico</b>	El PC presentó un color grisáceo, y la cascarilla su color natural.				

Muestra	Relación (PC-P/Cascarilla) (70/30%p/p)			
	Con acetato			
Granulometría	16/16	40/40	16/40	40/16
<b>NaClO</b>	Daño en la superficie, hubo pérdida de material	No se observó daño en la superficie.	Hubo daño en la superficie y el material presentó porosidad	Daño en la superficie, hubo pérdida de material.
<b>Aspecto físico</b>	El PC presento un color grisáceo, y la cascarilla su color natural.			

Reactivo	PC-P 100%
<b>NaOH</b>	Hubo presencia de poros y pérdida de material
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Permaneció inalterado
<b>NaClO</b>	Daño en la superficie, presencia de poros
<b>H<sub>2</sub>O</b>	No hubo absorción
<b>Tiner</b>	Daño en la superficie y pérdida de material.
<b>Metanol</b>	Leve daño en la superficie
<b>Tolueno</b>	El material presentó grietas acentuadas, hubo daño total en la superficie y desprendimiento de material, se observó un color grisáceo.