

ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN EN EL PROYECTO  
“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO  
REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA  
KUNTH (GAK)”

DAIMLER LONDOÑO RUIZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN

2014

ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN EN EL PROYECTO  
“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO  
REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA  
KUNTH (GAK)”

DAIMLER LONDOÑO RUIZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director

LUIS JAVIER CRUZ RIAÑO  
IM, Ph.D. Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN

2014

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma

Nombre:

Presidente del jurado

---

Firma

Nombre:

Jurado

---

Firma

Nombre:

Jurado

Medellín, febrero 11 de 2014

A mi familia y en especial a mi madre María Fe Ruiz por su amor y entrega incondicional y por ser un ejemplo de vida a seguir.

A mi hermana Yeinth, a mi padre Héctor y a todas esas personas tan especiales que físicamente ya no están con nosotros pero que desde el cielo nos alientan a seguir adelante dando gracias a Dios por cada minuto de vida.

## AGRADECIMIENTOS

De manera especial agradezco al director del Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA, de la Universidad Pontificia Bolivariana IM, Ph.D. Ingeniero Industrial, Luis Javier Cruz Riaño y al director del Grupo de Investigación en Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, doctorando IM. Jorge Isaac Fajardo Seminario, porque me brindaron su apoyo y conocimientos esenciales para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a la Alcaldía de Medellín que en convenio con el ICETEX y mediante el fondo, Camino a la Educación Superior, me apoyó parcialmente con el pago de la matrícula por medio de la modalidad de crédito condonable.

Agradezco al Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UPB, Ingeniero Mecánico, M.Sc. Diego Andrés Flórez Londoño, a las docentes IT, Ph.D. Adriana Restrepo Osorio e IM. Angélica María Gil Pilonieta, al Grupo de Investigación Pulpa y Papel de la Escuela de Ingenierías de la UPB, y a todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo en el enriquecedor camino del pregrado.

## CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MEZCLA DE POLIPROPILENO CON PARTÍCULAS DE MADERA.....	3
1.1. Polipropileno.....	3
1.2. Aserrín.....	7
1.3. Técnicas de fabricación de termoplásticos y lignocelulósicos.....	9
1.4. Caracterización.....	12
1.5. Aplicaciones.....	13
2. ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN.....	15
2.1. Material virgen.....	15
2.2. Tratamiento por <i>Steam Explosion</i> .....	16
2.3. Secado.....	19
2.4. Molido.....	19
2.5. Tamizado.....	20
2.6. Resultados obtenidos.....	21
3. CONCLUSIONES.....	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24
ANEXOS.....	33
Anexo 1. PROTOCOLO DE USO DEL STEAM ADAPTADO PARA TRABAJOS CON CHIPS DE GUADUA SIN TRATAR.....	34
Anexo 2. FICHAS TÉCNICAS EQUIPOS UTILIZADOS.....	37
Anexo 3. DIARIO DE CAMPO.....	38
Anexo 4. ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO.....	41

## LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Rango de temperaturas para el polipropileno.....	6
Tabla 2. Características mecánicas a temperatura ambiente del polipropileno....	6
Tabla 3. Propiedades de las maderas más comunes a temperatura ambiente.....	8
Tabla 4. Marcas registradas, características y aplicaciones típicas del PP.....	13
Tabla 5. Características guadua GAK.....	16
Tabla 6. Características tratamiento <i>Steam Explosion</i> .....	17
Tabla 7. Tablas del material obtenido.....	22

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Molécula de propileno.....	4
Figura 2. Molécula de polipropileno.....	4
Figura 3. Estereoisomerismo del polipropileno.....	5
Figura 4. Estructura química de la celulosa en la madera.....	7
Figura 5. Material virgen, guadua GAK.....	16
Figura 6. Equipo para tratamiento <i>Steam Explosion</i> y material tratado.....	18
Figura 7. Plantilla en Excel para tratamiento <i>Steam Explosion</i> .....	18
Figura 8. Horno y material seco.....	19
Figura 9. Molino y material molido.....	20
Figura 10. Equipo para tamizado y material tamizado.....	21
Figura 11. Material obtenido por <i>Steam Explosion</i> tamizado y rotulado.....	22

## GLOSARIO

- **Aserrín:** Conjunto de partículas de la madera.
- **Comportamiento viscoelástico:** Deformación de un material por deformación elástica y flujo viscoso cuando se aplica un esfuerzo.
- **Deformación elástica:** Se debe a un esfuerzo aplicado, se define como una deformación reversible e independiente del tiempo.
- **Deformación unitaria:** La deformación unitaria se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud.
- **Esfuerzo:** Se define el esfuerzo como una fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica.
- **Estereoisómeros:** Moléculas que tienen la misma composición química pero diferente disposición estructural.
- **Macromolécula:** Debido a que las moléculas de los polímeros son mucho más grandes que las de los hidrocarburos se les llama comúnmente macromoléculas.
- **Material estructural:** Son aquellos materiales que se diseñan para soportar alguna clase de esfuerzo.
- **Módulo de elasticidad (MOE):** Relación entre el esfuerzo y la elongación o deformación producida en un material que es elásticamente deformable.
- **Módulo de ruptura (MOR) o Resistencia a la flexión:** En los ensayos de flexión es la resistencia del material a la fractura.
- **Monómero:** Utilizada en el contexto de una molécula, se le denota a la molécula individual a partir de la cual se sintetiza un polímero.

- **No newtonianos:** Materiales en los que el esfuerzo cortante y la rapidez de deformación cortante no están linealmente relacionados; estos materiales son adelgazados o engrosados por corte.
- **Polimerización:** Es el proceso mediante el cual pequeñas moléculas de una sola unidad (monómeros) o de unas cuantas unidades (oligómeros) se unen químicamente para crear moléculas gigantes.
- **Polímero:** Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
- **Reacción exotérmica:** Cualquier reacción química que desprenda energía (variación negativa de entalpía).
- **Severidad:** En el proceso de *Steam Explosion* que se le hace a un material lignocelulósico, la severidad es un número adimensional que relaciona presión, temperatura y tiempo, este indica el grado de afectación que el proceso le hace al material.
- **Temperatura de transición vítrea (Tg):** Intervalo de temperatura por debajo del cual el polímero amorfo adopta una estructura vítrea rígida.
- **Termoplástico:** Material polimérico que se ablanda al calentarse y al enfriarse se vuelven a endurecer.
- **Unidad monomérica:** Utilizada en el contexto de un polímero, se le denomina a la unidad que se repite sucesivamente a lo largo de la cadena.

## RESUMEN

Este trabajo consiste en asistir en el proyecto “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GAK)”, realizando labores de laboratorio para la extracción de fibras de guadua por la técnica *Steam Explosion* y su respectiva preparación con el fin de surtir al doctorando, Jorge Fajardo, de la cantidad de fibra de guadua debidamente preparada para su investigación doctoral, la cual será usada en la elaboración de un material compuesto a base de polipropileno.

Inicialmente se presenta una breve introducción al “GINUMA” (integrantes, líneas de investigación, proyectos, etc.) y de esta manera se establece el contexto en el que se desarrolló este proyecto y las diferentes actividades de asistencia. Debido a que el proyecto que se asiste desarrolla un compuesto polimérico a base de polipropileno y fibras cortas de guadua, en el primer capítulo se trata el tema de los termoplásticos, siendo el de mayor relevancia para este trabajo el polipropileno y lo relacionado con la mezcla con partículas de madera, posteriormente se describen las actividades realizadas para el proyecto desarrollado detallando: procesos realizados, datos obtenidos y resultados alcanzados. Finalmente se presenta la bitácora de trabajo, donde se hace el informe de las actividades en la correspondiente fecha y hora de ejecución.



## INTRODUCCIÓN

Este informe corresponde al trabajo de grado desarrollado por el autor bajo la modalidad de asistencia a la investigación. Dicho trabajo se ejecutó entre la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador (Sede Cuenca) y el Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA, de la Universidad Pontificia Bolivariana, proyecto que servirá de base para que el doctorando ecuatoriano, Jorge Fajardo, realice su tesis doctoral. Se pretende con este tipo de actividades fortalecer el trabajo conjunto entre el pregrado y la formación avanzada de la UPB.

El Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA, adelanta labores de investigación, docencia y consultoría en las líneas de mecánica de materiales avanzada, nanomateriales, nuevos metales, plásticos reforzados con fibra naturales y reciclado de residuos. El “GINUMA” representa el soporte académico e investigativo para el área de materiales en la Escuela de Ingenierías de la UPB y cuenta con un equipo humano altamente calificado, compuesto por doctores y magísteres con formación en varias especialidades de la ingeniería. También cuenta con máquinas o equipos de última tecnología, todo esto con el fin de lograr un mejor desarrollo en cada investigación.

Los sectores de aplicación de cada una de las líneas de investigación desarrolladas dentro del grupo son: actividades de asesoramiento y consultoría a las empresas, asesoramiento y consultoría en arquitectura e ingeniería, desarrollo de nuevos materiales, ensayos de materiales y análisis de calidad de productos, diseño de estructuras metálicas, diseño de máquinas y equipos y otras actividades de asesoramiento y consultoría a las empresas.

Existen algunos proyectos de investigación, que por su complejidad o duración requieren incluir dentro de su organigrama a personal técnico auxiliar. Dependiendo del perfil específico, se puede convocar a estudiantes de los últimos semestres de la Escuela de Ingenierías para suplir estas necesidades. Esta figura es una de las modalidades de trabajo de grado establecidas en el reglamento de la Escuela de Ingenierías.

Con el objeto de que el estudiante se apropiase del proyecto al cual asistiría en la investigación, se realizó una revisión bibliográfica de los temas relevantes de dicho proyecto, esta será estudiada en el capítulo uno (1) de este trabajo. Además de esto, lo que se pretende es que el estudiante tenga la capacidad de aportar lo mayor de si al proyecto, independientemente de las labores que inicialmente fuesen planteadas.

Los objetivos planteados para la asistencia a la investigación al Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA, en el desarrollo del proyecto binacional Colombo-Ecuatoriano, son los siguientes:

- Realizar trabajo de laboratorio conducente a la extracción de la fibra de guadua GAK bajo el método de *Steam Explosion*.
- Realizar la molienda mecánica y el tamizado de la fibra de guadua para obtener las dimensiones requeridas para la elaboración del material compuesto.
- Realizar las actividades encomendadas por el director para asistir su labor investigativa.
- Elaborar bitácoras con las actividades desarrolladas durante la asistencia para mantener un informe detallado de las horas cumplidas.

## 1. MEZCLA DE POLIPROPILENO CON PARTÍCULAS DE MADERA

### 1.1. POLIPROPILENO

Los termoplásticos están formados por largas cadenas de monómeros y estas pueden o no estar ramificadas. Al calentarse se ablandan y posteriormente se funden pero al enfriarse se endurece de nuevo, lo que los hace fácilmente reciclables. Las características significativas de este grupo son: baja densidad, facilidad para conformar formas complejas, flexibilidad, bajo costo, tenacidad, aislante eléctrico y baja conductividad térmica (Askeland, 2004).

La clasificación de los polímeros se hace por el tipo de interacción entre las largas cadenas moleculares que para el caso de los termoplásticos es por enlaces de Van der Waals o secundarios, estos son relativamente débiles por lo cual se tienen puntos de fusión y ebullición relativamente bajos, no obstante al incrementar el peso molecular o el grado de polimerización del polímero pueden aumentarse muchas propiedades como la temperatura de fusión, la resistencia a la tensión y la tenacidad, entre otras (Callister Jr, 2009). En los materiales termoplásticos comunes, los enlaces intramoleculares son covalentes.

Respecto a la química de la molécula del monómero, el hidrocarburo propileno o propeno  $C_3H_6$  (figura 1), a presión y temperatura ambiente es un gas inoloro e incoloro con la siguiente estructura molecular.

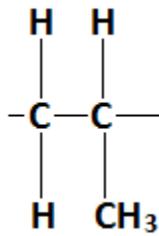


Figura 1. Molécula de propileno.

Este gas es el producto base para obtener el polipropileno, el cual se puede obtener por diferentes métodos de síntesis y como resultado se obtienen moléculas de polipropileno (figura 2).

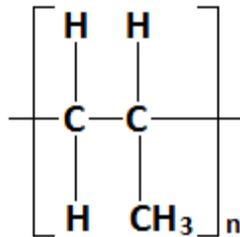


Figura 2. Molécula de polipropileno.

Siendo el subíndice  $n$ , el número de veces que se repite la unidad monomérica en la cadena. La configuración que tenga la molécula de polímero influye en las propiedades mecánicas que este pueda tener. En la figura 3, veremos los tres diferentes arreglos moleculares que puede tomar el polipropileno: isotático, atático y sindiotático.

La configuración atática es la más desorganizada y poco predecible lo cual genera un empaquetamiento poco eficiente disminuyendo las propiedades del material, por otra parte la configuración isotática es la más apropiada debido a que es mas organizada lo que le permite al polímero cristalizar.

El PP atático es un polímero amorfo parecido a la cera y de malas propiedades mecánicas, en tanto el PP isotático posee buenas propiedades mecánicas y una temperatura de fusión

relativamente alta lo que le permite tener aplicaciones comerciales siendo incluso uno de los más ampliamente usados (Askeland, 2004).

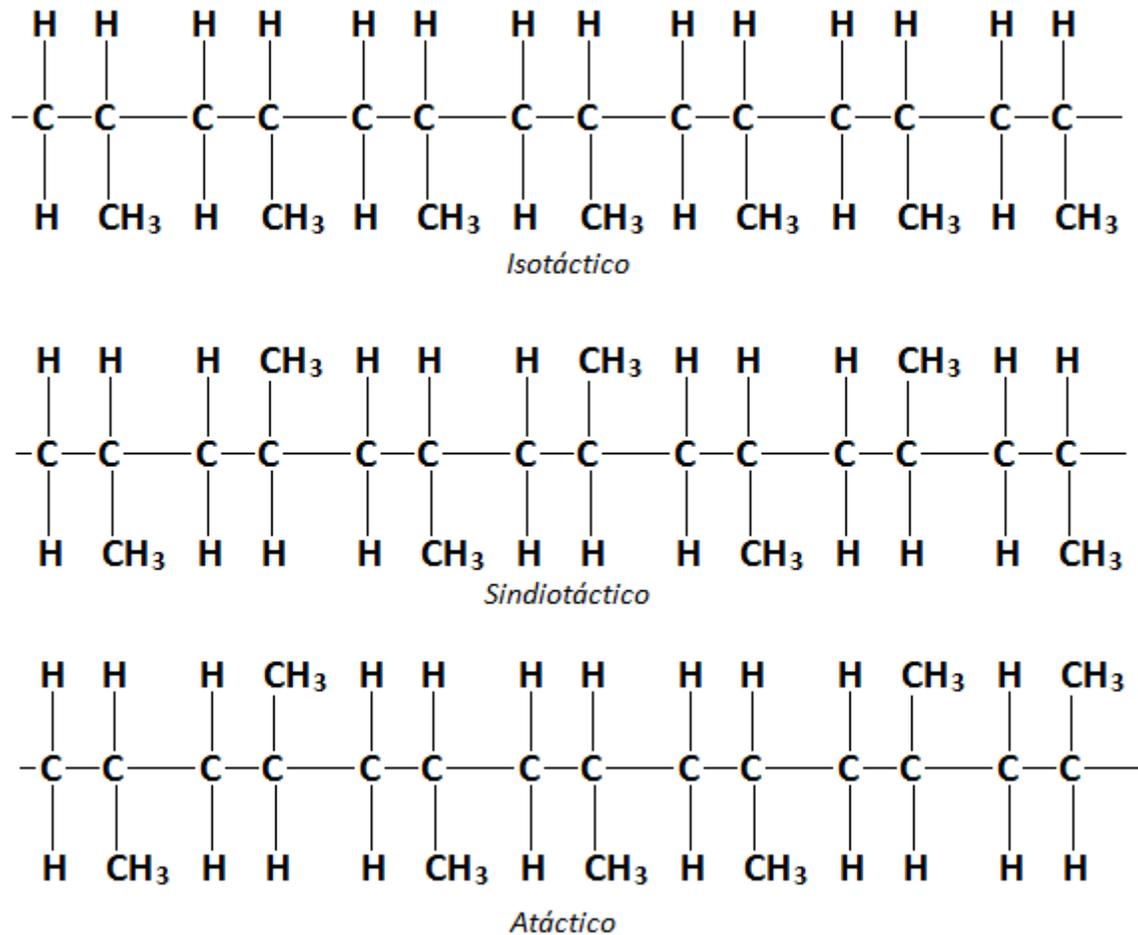


Figura 3. Estereoisomerismo del polipropileno (Callister, 2009).

Dentro de los termoplásticos, una de las familias más representativas es el polipropileno y entre los principales plásticos comerciales es el menos denso, además de esto presenta muy buenas propiedades eléctricas, buena resistencia al impacto, a la fatiga y al calor.

La temperatura tiene gran influencia en el comportamiento de los polímeros debido a que las propiedades cambian al variar la temperatura. A continuación se tienen las temperaturas más significativas del PP (tabla 1).

Tabla 1. Rango de temperaturas para el Polipropileno.

<b>Polímero</b>	<b>Temperatura de transición vítrea [Tg]</b>	<b>Temperatura de Fusión [Tm]</b>	<b>Temperatura de procesamiento</b>
Polipropileno	-25 a -20 °C	160 – 180 °C	190 – 288 °C

*Fuente:* (Askeland, 2004).

Precisamente por las características propias de los polímeros al no ser completamente cristalinos como lo es por ejemplo el caso del PP isotáctico el cual a pesar de llamarse cristalino posee algunas zonas amorfas, estos polímeros presentan rangos aproximados para cada uno de sus estados o cambios de estado.

La cristalinidad en los polímeros puede inducirse por temperatura al realizar un enfriamiento lento o mediante la aplicación de esfuerzos que permitan desentrelazar las cadenas (cristalización inducida por esfuerzos) (Callister, 2009).

En cuanto a las propiedades mecánicas de los termoplásticos, estos presentan un comportamiento no newtoniano y viscoelástico. El comportamiento viscoelástico se da debido a que al estar sometido a un esfuerzo externo las cadenas se deforman produciendo un comportamiento elástico pero al mismo tiempo y debido a los débiles enlaces de Van der Waals entre las cadenas se presenta un flujo viscoso o deformación plástica (Callister, 2009). La tabla 2 indica las principales propiedades del polipropileno a temperatura ambiente.

Tabla 2. Características mecánicas a temperatura ambiente del polipropileno.

<b>Polímero</b>	<b>Densidad [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Módulo elástico a la tracción [GPa (Ksi)]</b>	<b>Resistencia a la tracción [MPa (Ksi)]</b>	<b>Límite elástico [MPa (Ksi)]</b>	<b>Resistencia al impacto Izod [pie-lb/pulg]</b>	<b>Alargamiento a la rotura [%]</b>
PP	0,90 - 0,91	1,14 - 1,55 (165 - 225)	31 - 41,4 (4,5 - 6,0)	31,0 - 37,2 (4,5 - 5,4)	0,4 - 2,2	100 - 600

*Fuente:* (Callister Jr, 2009), (Askeland, 2004).

## 1.2. ASERRÍN

El aserrín está constituido por pequeñas partículas de madera, la cual es un compuesto de origen natural. Como dice Askeland (2004) “La madera puede considerarse como un material compuesto complejo reforzado con fibras y formado de celdas poliméricas largas, tubulares y alineadas unidireccionalmente dentro de una matriz polimérica”, este material es higroscópico y la variabilidad del contenido de agua depende de la humedad relativa y la temperatura de la atmósfera en la que este se encuentre. El porcentaje de agua está dado por:

$$\% \text{ de agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la madera seca}} * 100 \quad .$$

Una técnica para determinarlo es secándolo en una estufa entre 100 y 105°C hasta que se mantenga constante su peso (Baumeister, Avallone, & Baumeister III, 1984).

La madera está constituida por cuatro constituyentes principales. Las fibras de celulosa representan aproximadamente de 40 a 50% de la madera. La celulosa es un polímero termoplástico natural con un grado de polimerización de aproximadamente 10.000. A continuación en la figura (4) se muestra la estructura de la celulosa.

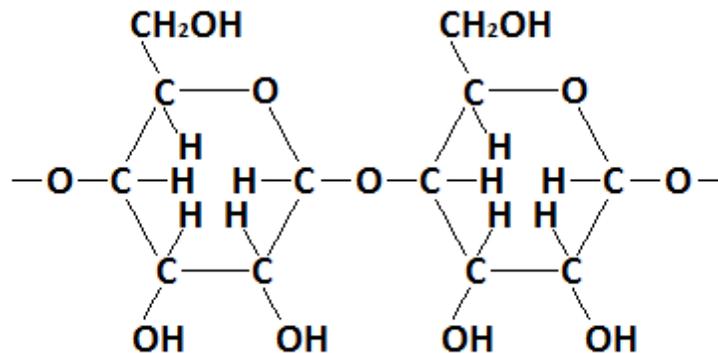


Figura 4. Estructura química de la celulosa en la madera.

El 35% de la madera es hemicelulosa el cual es un polímero con grado de polimerización de alrededor de 200, otro 15 al 35% es lignina, el cual es un cemento orgánico que une los diversos constituyentes de la madera. Por último, los extractivos son impurezas orgánicas como aceites que le dan color a la madera o que actúan como preservadores contra el entorno y los insectos, así como los minerales inorgánicos como el sílice, que es un factor que “desafila” las hojas de las sierras durante el corte de la madera. Los extractivos pueden representar hasta el 10% del total de la madera (Askeland, 2004) (Eugene A, 1997).

La resistencia a la degradación química de la madera depende mucho de la especie a la que pertenezca. Los hongos son uno de los organismos destructores de la madera, por esta razón las condiciones normales de secado en horno y tratamientos de vapor se hacen entre 50 y 60°C que es el rango de temperatura de esterilización en el cual se mueren los hongos. Es importante tener en cuenta que la congelación de la madera solamente duerme los hongos. La inmersión de la madera en agua impide el ataque y desarrollo de los hongos, pero causará la disminución de contenido de celulosa lo que influye negativamente en las propiedades mecánicas del material. Los cambios en la celulosa también se pueden producir por una larga exposición de la madera a la atmósfera. En la tabla 3 veremos algunas propiedades de las maderas más comunes (Baumeister, Avallone, & Baumeister III, 1984).

Tabla 3. Propiedades de las maderas más comunes a temperatura ambiente.

<b>Madera</b>	<b>Densidad [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Módulo de elasticidad (medido en flexión) [GPa(Ksi)]</b>	<b>Resistencia a la tracción [GPa(Ksi)]</b>
<b>Abeto Douglas (12% de humedad)</b>			
Paralelo al grano	0,46 - 0,50	10,8 - 13,6 (1570 - 1970)	108 (15,6)
Perpendicular al grano		0,54 - 0,68 (78 - 100)	2,4 (0,35)
<b>Roble colorado (12% de humedad)</b>			
Paralelo al grano	0,61 - 0,67	11,0 - 14,1 (1600 - 2040)	112 (16,3)
Perpendicular al grano		0,55 - 0,71 (80 - 100)	7,2 (1,05)

Fuente: (Callister Jr, 2009).

Un parámetro importante para analizar es la humedad en el aserrín debido a que esta influye negativamente tanto en el proceso de fabricación como en las características del compuesto final. En el proceso de fabricación por extrusión, el aserrín se conglera en la boca de la tolva debido a la humedad y a las altas temperaturas y no logra hacer contacto con el husillo. En el producto final, la humedad desfavorece la unión entre el termoplástico y el aserrín, lo cual se evidencia en menores propiedades mecánicas del compuesto.

### 1.3. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS Y LIGNOCELULÓSICOS

Los materiales de relleno se utilizan en los termoplásticos principalmente con el objeto de disminuir los costos de fabricación utilizándose como extensores, sin embargo también se utilizan para mejorar la resistencia a la tracción, a la compresión, a la abrasión, la tenacidad, la estabilidad térmica y dimensional entre otras propiedades. Los más comúnmente usados son: aserrín finamente pulverizado, polvo de sílice y arena, vidrio, arcilla, talco, caliza y algunos polímeros sintéticos. Los tamaños de las partículas varían desde 10 *nm.* hasta dimensiones macroscópicas. En estos casos la matriz polimérica soporta la mayor parte de la carga aplicada mientras que las pequeñas partículas dispersas preferiblemente de forma homogénea obstaculizan o impiden el movimiento de las dislocaciones restringiendo la deformación plástica de modo que se mejora el límite elástico, la resistencia a la tracción y a la dureza (Askeland, 2004).

La interfase es un parámetro importante para el éxito de un material compuesto ya a que esta influirá significativamente en las propiedades mecánicas del mismo. En el caso del polipropileno y los lignocelulósicos, podrían realizarse tratamientos superficiales preliminares a la madera como el *Steam Explosion* o en su defecto utilizar métodos químicos para que ambos materiales sean más compatibles.

El *Steam Explosion* es una técnica que se puede utilizar para modificar los materiales lignocelulósicos, en este proceso se modifica y desorganiza la estructura molecular del material lo cual mejora su compatibilidad con la matriz polimérica termoplástica, este procedimiento tiene la particularidad de permitir determinado grado de separación de las fibras dependiendo de la severidad con que se realice el proceso (Quintana, 2009).

En la explosión de vapor, la biomasa es expuesta a vapor presurizado seguido por la reducción rápida de la presión. El resultado del tratamiento es la descomposición sustancial de la estructura lignocelulósica, la hidrólisis de la fracción de hemicelulosa, la despolimerización de los componentes de lignina y la separación de las fibras. Por lo tanto, la accesibilidad de los componentes de celulosa se aumenta en gran medida (Cara, Ruiz, Ballesteros, Negro, & Castro, 2006).

Estudios revelaron que compuestos de polipropileno (PP) con fibras de bambú poseen considerablemente altas propiedades de flexión. Esta propiedad característica los hace adecuados para reemplazar en la actualidad la fibra de vidrio, ampliamente utilizada en la industria automotriz. En otra investigación, se estudiaron compuestos de polipropileno reforzado con fibras cortas de bambú, con diversos porcentajes de cargas de fibras de bambú modificadas químicamente. En este estudio se ha elegido el polipropileno injertado con anhídrido maléico, que fue apoyado como compatibilizante con el fin de mejorar la adhesión entre la fibra y la matriz. Los efectos directos de diferentes porcentajes y modificación de la fibra de bambú en diversas propiedades físicas y mecánicas de los compuestos de PP indicaron que tanto el porcentaje y la modificación juegan un papel importante en la variación de estas propiedades. Resultados del análisis SEM, análisis termogravimétrico (TGA) y FT-IR, revelaron que las superficies de fractura, la estabilidad térmica y la funcionalidad de los materiales compuestos con fibras de bambú modificadas mostraron un patrón de unión y unos mejores resultados (Khalil, Bhat, Jawaid, Zaidon, Hermawan, & Hadi, 2012).

En el compuesto de madera y plástico es importante tener en cuenta que no todos los tipos de madera se acoplan de igual manera con el polímero, para esto se deben precisar las

variedades de madera disponibles en la zona y evaluar cuál o cuáles son las que mejor se acoplan al plástico con el fin de obtener el mejor material posible. Estudios realizados analizaron la absorción de humedad y resistencia a la degradación de diferentes compuestos basados en polietileno de alta densidad y cinco especies de madera: álamo, *Abeto Douglas-fir*, algarrobo negro, roble banco y pino *ponderosa*. Los resultados obtenidos demuestran que para cada tipo de madera se obtienen diferentes propiedades tanto físicas como mecánicas (Fabiya, McDonald, Morrell, & Freitag, 2011).

Para el caso del polímero, los métodos químicos buscan que este sea más compatible con el relleno para lo cual se utilizan aditivos o compuestos que posean características intermedias entre ambos materiales y así mejorar su compatibilidad. Algunos de estos tratamientos químicos pueden ser la impregnación, injertos de copolimerización, agentes químicos y otros agentes de acople como el copolímero injerto de anhídrido maléico y polipropileno (MAPP) utilizado con éxito para mejorar la adhesión en la interfase entre una matriz de polipropileno reforzada con fibra de fique. (Garces & Silva, 2004).

Los agentes aditivos son importantes a la hora de fabricar los compuestos de madera y termoplásticos debido a que mejoran la unión entre el aserrín y el plástico y disminuyen la posibilidad de que agentes externos afecten el material. Estudios determinaron que entre el 60% y 80% de partículas y fibras de madera de pino Radiada (*Pinus Radiada*), se mezclaron con el polipropileno al utilizar cuatro diferentes aditivos, structor TR 016, el cual es un agente de acoplamiento, CIBA agente anti-microbiano como fungicida, CIBA revestimiento que actúa como filtro UV y CIBA como pigmento. Estos estudios revelaron por medio de micrografías tomadas en el microscopio electrónico de barrido (SEM), que el agente de acoplamiento y el pigmento permitieron obtener una mezcla más homogénea entre el aserrín y el plástico. (Wechsler & Hiziroglu, 2007).

Existen varias técnicas de fabricación para obtener un material a partir de la mezcla entre polipropileno y aserrín. Por disponibilidad de los equipos en los laboratorios de la Escuela de Ingenierías de la UPB, estos trabajos se pueden realizar mezclando las materias primas

por calandrado mecánico para posteriormente utilizar el proceso de inyección con el objeto de obtener las probetas que se requieren para los diferentes ensayos.

El calandrado es una operación de laminado utilizada entre otras aplicaciones para producir mezclas de materiales termoplásticos. Este proceso consiste en hacer pasar los materiales a través de rodillos giratorios precalentados que mediante temperatura y presión producen láminas de menor espesor (Eugene A, 1997) (Callister, 2009).

El moldeo por inyección es una de las técnicas más usadas para la fabricación de materiales termoplásticos, donde utilizando una unidad de inyección se funde, mezcla e inyecta a presión el polímero a través de una boquilla para que entre a una cavidad cerrada (Eugene A, 1997) (Callister, 2009).

En el caso de producción por extrusión, otra posibilidad para mejorar las propiedades de estos compuestos es realizar un mejor procesamiento con el fin de disminuir la tasa de absorción de humedad, para tal efecto se han realizado investigaciones en las cuales se varían las condiciones de operación del extrusor obteniendo como resultado una menor tasa de absorción de la humedad al rotar el husillo a altas velocidades incluso en ausencia de un agente de acoplamiento. (Yeh & Gupta, 2008).

#### 1.4. CARACTERIZACIÓN

Al estudiar las propiedades mecánicas de los materiales vemos que estos pueden estar sometidos a diferentes esfuerzos como: tensión, compresión, corte y flexión. Los esfuerzos de tensión y de compresión se dan mucho en aplicaciones ingenieriles y para analizarlos existen diagramas de esfuerzo-deformación los cuales están determinados por curvas que se obtienen por técnicas de ensayos estandarizados en las cuales una probeta se somete a la acción de una carga uniaxial a lo largo del eje longitudinal hasta la rotura, generalmente estas probetas son de forma circular o rectangular. (Callister Jr, 2009).

Tanto los ensayos mecánicos como físicos y químicos mediante los cuales se va a caracterizar el material están debidamente normalizados pero no están incluidos en este trabajo.

## 1.5. APLICACIONES

Una de las aplicaciones de los compuestos de madera y plástico son los *palés* o estibas, elementos muy importantes en la industria para el almacenamiento y transporte de mercancía, sin embargo presentan algunas desventajas en cuanto a costos y peso, por tal motivo se han venido desarrollando diferentes técnicas y diseños con el fin de disminuirlos. (Soury, Behraves, Rouhani Estafahani, & Zolfaghari, 2009), realizaron un método innovador en el cual optimizan el diseño de *palés* utilizando el perfil en *I* obteniendo como resultados menor peso, mayor resistencia a la tracción y a la flexión, siendo este un avance muy importante para la evolución de estos materiales.

En la tabla 4 se observan algunas características y aplicaciones típicas de marcas registradas de polipropileno.

Tabla 4. Marcas registradas, características y aplicaciones típicas del PP.

<b>Polímero</b>	<b>Marcas registradas</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicaciones típicas</b>
PP	-Herculon -MeraKlon -Moplen -Poly-pro -Pro-fax -Propak -Propathene	-Resistencia a la distorsión térmica. -Excelentes propiedades eléctricas y resistencia a la fatiga. -Químicamente inerte. -Relativamente económico. -Poca resistencia a la radiación UV.	-Botellas esterilizables. -Películas para embalaje. -Gabinetes para televisores. -Maletas.

Fuente: (Callister, 2009).

Otra de las aplicaciones comunes para estos compuestos son los postes, cerramientos y pisos, aunque en la actualidad y gracias a técnicas y diseños innovadores se están utilizando también como sistemas constructivos de casas.

## 2. ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN

En este proyecto se asiste al Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA, particularmente en el proyecto “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GAK)”, realizando labores de laboratorio para la extracción de fibras de guadua por la técnica *Steam Explosion* y su preparación mediante molienda mecánica y tamizado, como preparación de las mismas para ser usadas en la elaboración de un material compuesto a base de polipropileno. Esta actividad fue el compromiso y la responsabilidad del estudiante de pregrado con el fin de surtir al doctorando, Jorge Fajardo, de la cantidad de fibra de guadua debidamente preparada para su investigación doctoral.

### 2.1. MATERIAL VIRGEN

Inicialmente se recibe la guadua GAK procedente de Ecuador en estado natural (figura 5), acondicionada para ser utilizada en el equipo de *Steam Explosion* ubicado en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingenierías de la UPB sede Medellín. Las características del material se pueden ver a continuación en la tabla 5.



Figura 5. Material virgen, guadua GAK.

Tabla 5. Características guadua GAK.

<b>Guadua Angustifolia Kunth (GAK)</b>	
Procedencia	El Triunfo - Ecuador
Edad	2 años
Cantidad	20.000 g.
Tratamiento Previo	Ninguno
Tamaño aproximado	2 cm x 4 cm

## 2.2. TRATAMIENTO POR *STEAM EXPLOSION*

El reactor discontinuo donde tiene lugar el tratamiento con vapor, fue diseñado y construido por el Grupo Pulpa y Papel de la UPB, para autogenerar el vapor requerido durante el tratamiento. Consiste en dos tanques de acero inoxidable (figura 6).

El tanque superior es un reactor cilíndrico de 10 litros con aislamiento térmico en el cual se realiza la autohidrólisis del material lignocelulósico, unido mediante una electroválvula de accionamiento a distancia a un recipiente de 100 litros ubicado en la parte inferior, en éste

se realiza la expansión súbita y recolecta del material pretratado con el objeto de minimizar las pérdidas de materia (Quintana, 2006).

En esta etapa del proceso se somete la guadua GAK a vapor con alta presión y temperatura por determinado tiempo para finalmente y por medio de una expansión súbita modificar y separar las fibras de guadua. En la tabla 6 se pueden observar las características principales del tratamiento.

Tabla 6. Características tratamiento *Steam Explosion*.

<i>Steam Explosion</i>	
Carga material	200 g.
Carga agua	2 litros
Severidad	3,3
Presión objetivo	138 Psig.
Tiempo	Aproximadamente 33 min.
Temperatura	Aproximadamente 180 °C

El equipo (figura 6), permite leer la presión a la que está sometido el material, este dato y el tiempo se introducen en una plantilla en Excel (figura 7), la cual estima la temperatura y la severidad a la que está sometido el material. La severidad es un número adimensional que nos indica el grado de afectación que se le hace al material relacionando presión, temperatura y tiempo.



Figura 6. Equipo para tratamiento *Steam Explosion* y material tratado.

Esta etapa del proceso es crucial debido a que el material además de sufrir cambios físicos también sufre modificaciones químicas por lo cual hay que controlar muy bien el proceso con el objeto de garantizar que la severidad a la que se somete el materiales sea la esperada.

Tiempo [min]	Temp [°C]	Presión [Psig]	Severidad	Hora	Coeficientes polinomio	
0	95,09958	0		10:46	a	-1,20647E-11
5	123,40191	19	1,1764	10:51	b	8,82502E-09
10	141,54400	41	1,8390	10:56	c	-2,58002E-06
15	152,49472	61	2,2981	11:01	d	0,000388853
20	162,75248	84	2,6651	11:06	e	-0,033290431
25	171,97490	108	2,9856	11:11	f	1,998314967
30	178,83471	129	3,2601	11:16	g	95,09958105
31	179,43327	131	3,3084	11:17		
32	181,46659	138	3,3557	11:18	Válido entre -2 y 213 psig	
33	182,31233	141	3,4025		P <sub>Medellín</sub> (mmHg)	640
38	192,77490	180	3,6568		Muestra	Guadua GAK
43	195,39721	190	3,8747		Severidad muestra	3,350
					Muestra hum. (g)	200
					Volumen Lix. (mL)	
				Hora inicial:	10:46	
				Toma de datos cada [min]:	00:05	

Figura 7. Plantilla en Excel para tratamiento *Steam Explosion*.

### 2.3. SECADO

En esta etapa del proceso se somete el material a un secado en un horno (figura 8) a 60°C por un mínimo de 12 horas con el objeto de tener el material en condiciones óptimas de humedad para el proceso de molido y su posterior tamizado.

Hay que tener en cuenta que este material posteriormente será sometido a un nuevo secado que deberá efectuarse justo antes del proceso de mezclado con el material polimérico para garantizar un porcentaje de humedad adecuado para el desarrollo de un buen compuesto.



Figura 8. Horno y material seco.

### 2.4. MOLIDO

En este proceso se somete el material a un molido con malla de 2 mm. Para este proceso se disponía de tres tipos de malla las cuales tenían apertura de 4 mm, 2 mm y 0.5 mm, pero después de realizar unos ensayos se determinó que la de 2 mm. garantiza mayor porcentaje de fibra en la malla # 40 y # 60 que son las que más adelante se utilizarán para desarrollar el compuesto (figura 9).



Figura 9. Molino y material molido.

## 2.5. TAMIZADO

En esta etapa final del proceso se tamiza el material en tandas de aproximadamente 200 gr. por periodos de 20 min. dejando descansar el equipo por aprox. 30 min. La serie de mallas utilizadas para este trabajo fueron las correspondientes a los números: 14, 20, 35, 40, 60 y 100 (figura 10).



Figura 10. Equipo para tamizado y material tamizado.

En esta etapa del proceso se tuvieron algunos retrasos debido a que el material al estar cargado con electrostática complicaba el proceso de tamizado. Se intentó evitar este fenómeno dejando reposar el material y los tamices por 24 horas pero no se lograba resolver el problema debido a la intensidad del proceso en el cual se trabajaba al día, aproximadamente, 12 tandas con descansos de 15 minutos. Finalmente, se optó por dejar reposar el material 24 horas entre el molido y el tamizado, y se dejaba descansar el equipo de tamizado, aproximadamente, 30 minutos entre cada tanda.

## 2.6. RESULTADOS OBTENIDOS

De los 20.000 g. de guadua inicial enviada desde Ecuador, se obtuvieron 15.458 g. con la calidad y especificaciones esperadas. Este material se entregó debidamente rotulado bajo los siguientes ítems (figura 11): Severidad, malla de molido, y número de malla del tamiz. Además de esto se entregaron cuadros con información detallada del proceso, promedios y porcentajes (tabla 7).



Figura 11. Material obtenido por *Steam Explosion* tamizado y rotulado.

Tabla 7. Tablas del material obtenido.

PROMEDIO TOTAL Severidad 3,35		
FECHA	Molido Malla 2 mm	
19/12/2013	Peso material [g] =	14730
# Malla	Peso final [g]	Porcentaje
14	152,90	1,0%
20	1429,00	9,7%
35	3105,40	21,1%
40	4119,30	28,0%
60	1840,90	12,5%
100	2720,00	18,5%
Residuos	1359,80	9,2%
<b>TOTAL</b>	<b>14727,30</b>	<b>100,0%</b>

PROMEDIO TOTAL Severidad 3,8		
FECHA	Molido Malla 4 mm	
21/11/2013	Peso inicial [g]	320,4
# Malla	Peso [g]	Porcentaje
14	17,9	5,6%
20	31	9,7%
35	33,5	10,5%
40	57,1	17,8%
60	32,5	10,1%
100	56	17,5%
Residuos	92,4	28,8%
<b>TOTAL</b>	<b>320,4</b>	<b>100,0%</b>

PROMEDIO TOTAL Severidad 3,2		
FECHA	Molido Malla 2 mm	
20/11/2013	Peso inicial [g]	410,4
# Malla	Peso [g]	Porcentaje
14	3,6	0,9%
20	37,2	9,1%
35	81,4	19,8%
40	113,4	27,6%
60	53,1	12,9%
100	85,4	20,8%
Residuos	36	8,8%
<b>TOTAL</b>	<b>410,1</b>	<b>99,9%</b>

### 3. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo permitió cumplir con su principal objetivo que era suplir al doctorando, Jorge Fajardo Seminario, de determinada cantidad de fibra de guadua debidamente preparada, además de esto, también se logró generar conocimiento relevante en cuanto al proceso y cada una de las etapas a las que se somete la guadua iniciando desde el corte, pasando por el *Steam Explosion* y finalizando con su adecuado embalaje.

En el procedimiento realizado en el equipo de *Steam Explosion*, el cual era crítico para el proceso y resultado final, se logró entender, estudiar y analizar los diferentes factores que afectan la velocidad del proceso, los cuales son: cantidad y tamaño de material para el equipo utilizado, temperatura inicial del reactor, tiempos de dosificación del agua al reactor y finalmente tiempo de espera entre cada tratamiento. Tomando en cuenta lo anterior se recomienda para trabajos futuros con guadua virgen que pretendan utilizar el equipo de *Steam Explosion* guiarse por el protocolo de uso del equipo adaptado para trabajo con astillas de guadua (anexo 1).

Este trabajo permitió profundizar y poner en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso del pregrado, enfrentando al estudiante a retos que debían resolverse eficiente y eficazmente debido a los exigentes requerimientos y características propias del trabajo en el laboratorio y a la ajustada disponibilidad de los laboratorios y equipos en los que se trabajó.

Este tipo de actividades fortalecen el trabajo conjunto entre el pregrado y la formación avanzada de la UPB incentivando el espíritu investigador de los estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

Adhikary, K., Pang, S., & Staiger, M. (2008). Dimensional stability and mechanical behavior of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering* , 39, 807-815.

Afrifah, K., Hickok, R., & Matuana, L. (2010). Polybutene as a matrix for wood plastic composites. *Composites Science and technology* , 70, 167-172.

Anglés, M. (2001). Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of pre-treatment severity and lignin addition. *Biomass and Bioenergy* , 21 (3), 211-224.

Anglès, M., & Reguant, J. (1999). Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood. *Journal of Applied Polymer Science* , 73, 2485-2491.

Askeland, D. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (Cuarta edición ed.). México: Thomson.

Ayrilmis, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., & Bauchongkol, P. (2001). Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites. *Polymer Degradation and Stability* , 96, 818-822.

Back, E. (1998). Oxidative activation of wood surfaces for glue bonding. *Forest Product Journal* (40), 130.

Barreto, C. (2007). *Obtención y evaluación de un nuevo material compuesto de polímero colado cargado con material de residuo*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Baumeister, T., Avallone, E., & Baumeister III, T. (1984). *Manual del Ingeniero Mecánico* (Segunda edición en español ed.). México: McGRAW-HILL.

Benavides, A., & Bassarello, C. (2007). Flavonoids and isoflavonoids from *Gynierium sagittatum*. *PHYTOCHEMISTRY* , 68, 1277-1284.

Blanchet, P. (2000). Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology* , 34 (1), 11.

Bolin, C., & Smith, S. (2011). Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. *Journal of Cleaner Production* , 19, 620-629.

Bouajila, J., & Limare, A. (2005). Lignin plasticization to improve binderless fiberboard mechanical properties. *Polymer Engineering & Science* , 45 (6), 809-816.

Callister, W. D. (2009). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Segunda edición ed.). México DF: LIMUSA, S.A.

Cara, C., Ruiz, E., Ballesteros, I., Negro, M., & Castro, E. (2006). Enhanced enzymatic hydrolysis of olive tree wood by steam explosion and alkaline peroxide delignification. *Process Biochemistry* (41), 423-429.

Castro, D., & Henao, E. (2009). *Elaboración de tableros aglomerados a partir de lodos papeleros y lignina*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Contreras, W., & Contreras, Y. (2004). Tableros aglomerados de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo urea-formaldehído. *Boletín de información técnica* (231).

Contreras, W., & Owen de Contreras, M. (1997). Elaboración de un elemento estructural laminado, tipo PARALLAM, con tiras de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo fenol-formaldehído. *Revista Forestal Venezolana* , 41 (1), 29-36.

Contreras, W., & Owen, M. (2006). Diseño de tableros de partículas de caña brava y adhesivo fenol-formaldehído(R 10% / R 13%). *Rev. For. Lat.* (39), 39-55.

Crookston, K., Young, T., Harper, D., & Frank, G. (2011). Statistical reliability analyses of two wood plastic composite extrusion processes. *Reliability Engineering & System Safety* , 96, 172-177.

Cuellar, A., & Muñoz, I. (2009). Fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas. *Universidad Nacional* .

Dittenber, D., Hota, ũ., & GangaRao, V. (2012). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites (Part A 43)*, 1419-1429.

Eugene A, A. (1997). *Manual del Ingeniero Mecánico - MARKS*. México: McGRAW-HILL.

Fabiyi, J., & McDonald, A. (2010). Effect of wood species on property and weathering performance of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 41, 1434-1440.

Fabiyi, J., McDonald, A., Morrell, J., & Freitag, C. (2011). Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 42, 501-510.

Fabiyi, J., McDonald, A., Wolcott, M., & Griffiths, P. (2008). Wood plastic composites weathering: Visual appearance and chemical changes. *Polymer Degradation and Stability* , 93, 1405-1414.

Fengel, D., & Wegener, G. (2003). *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Verlag Kessel.

Garces, W., & Jairo, S. (2004). *Caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica termoplástica y fibras naturales para aplicaciones automotrices*. Medellín: Univeersidad Pontificia Bolivariana.

Gartner, C., Gallego, K., & López, B. (2006). Estudio de mezclas de polímeros reciclados. *Revista Facultad de Ingeniería UdeA* (37), 59-70.

Grigoriu, A. (2000). Experimental particleboards from kenaf plantations grown in greece. *Holz als Roh und Werkstoff* , 58 (5), 309.

Gutiérrez, L. (2004). *Efecto del azufre sobre la digestibilidad In Situ de un alimento en base a fibra y su relación sobre los microorganismos del rumen de ovinos*. Universidad de Colima.

Halvarsson, S., & Edlund, H. (2009). Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards. *industrial crops and products* , 29, 437–445.

Hashim, R. (2011). Characterization of raw materials and manufactured binderless particleboard. *Materials and Design* , 32, 246–254.

Hashim, R., & Hamid, S. (2009). Extractable formaldehyde from waste medium density fibreboard. *J Trop* , 21, 25–33.

Herrera, P., & Valadez, A. (2005). A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Composites (Part B 36)*, 597-608.

Hiziroglu, S. (2008). Overlaying properties of fiberboard manufactured from bamboo and rice straw. *Industrial Crops and Products* , 28, 107.

Jiebing, L., & Göran, G. (2009). Steam explosion lignins; their extraction, structure and potential as feedstock for biodiesel and chemicals. *Bioresource Technology* (100), 2556–2561.

Jiebing, L., & Gunnar, H. (2007). Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion. *Bioresource Technology* (98), 3061–3068.

Kerguelén, H., Gil, A., Cruz, J., & Gañán, P. (2007). Degradación térmica de materiales termoplásticos potencialmente empleados en labores agrícolas. *Universitas Científica* , X, 50-54.

Khalil, A., Bhat, U., Jawaid, M., Zaidon, A., Hermawan, D., & Hadi, Y. (2012). Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review. *Abdul Khalil a, Bhat a, M. Jawaid b, A. Zaidon c, D. Hermawan d, Y.S. Hadi d* (42), 353-368.

Lei, Y., & Wu, Q. (2010). Wood plastic composites based on microfibrillar blends of density polyethylene/poly(ethylene terephthalate). *Bioresource Technology* , 110, 3665-3671.

Lomelí, M., Ochoa, H., Fuentes, F., García, S., & Cerpa, M. (2009). Evaluation of accelerated decay of wood plastic composites by Xylophagus fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* , 63, 1030-1035.

Mancera, C., & Mansouri, N. (2011). The effect of lignin as a natural adhesive on the physico-mechanical properties of vitis vinifera fiberboards. *Bioresources* , 6 (3), 2851-2860.

Mansouri, N., & Salvado, J. (2007). Lignin bases polycondensation resins for wood adhesives. *Journal of Applied Polymer Science* , 103 (3), 1690.

Marcano, A. (1967). *Evaluación de la caña brava Gynerium sagittatum – Gramineae, como materia prima en la elaboración de pulpa y papel*. Merida- Venezuela.

Mason, W. (1927). Pulp and paper from steam exploded wood. *Paper trade J* (84), 131.

Matte, J. (1988). Recent developments in lignin utilization as wood adhesive . *Cellulose Chemistry and Technology* , 22, 71.

Mobarak, F., & Fahmy, Y. (1982). Binderless Lignocellulose Composite from Bagasse and Mechanism of Self-Bonding. *Holzforschung* , 36, 131.

Muasher, M., & Sain, M. (2006). The efficacy of photostabilizers on the color change of wood filled plastic composites. *Polymer Degradation and Stability* , 91, 1156-1165.

Negro, M. (2003). Changes in various physical/chemical parameters of Pinus pinaster wood after steam explosion pretreatment. *Biomass & Bioenergy* , 25 (3), 301.

Negro, M., & Manzanares, P. (2003). Changes in various physical/chemical parameters of Pinus pinaster wood after steam explosion pretreatment. *Biomass and Bioenergy* , 25, 301 – 308.

Niño Lozano, J. F. (2011). *Potencial y beneficio socio-ambiental del uso de materiales lignocelulósicos generados en proyectos lineales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K. (2007). Development of recycled Pet fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites* , 29, 448-455.

Okuda, N. (2004). Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *Journal of wood science* , 50 (1), 61.

Ortega, R. E., & Beltrán, J. D. (2011). Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv. in vitro. *Revista colombiana biotecnología* , 13 (1).

Overend, R., & Chornet, E. (1987). Fractionation of lignocellulosics by steam-aqueous pretreatments. *Philosophical Transaction of the Royal Society* , 321 (1561), 523-536.

Perdomo, D., & Viana, J. (2011). *Tableros aglomerados de fibra de plátano y fibra de vidrio*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Pereira Ramos, L. (2003). The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Quim. Nova* , 26 (6), 863-871.

Quintana, G. (2006). *Pretratamiento con vapor del raquis de banano para la producción de tableros de aglomerados sin enlazantes*. Tesis maestría, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.

Quintana, G. (2009). Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial crops and products* , 29 (1), 62.

Saari, N., & Hashim, R. (2014). Properties of steam treated binderless particleboard made from oil palm trunks. *Composites* , 56, 344-349.

Said, N., & Hashim, R. (2011). Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Materials and Design* , 32, 2520-2525.

Salvadó, J., & Velásquez, J. (2003). Binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sinensis*: optimization pressing and pretreatment conditions. *Wood Science and Technology* , 37 (3), 279 – 286.

Satoshi, S., & Hiroyuki, S. (2009). Preparation of Binderless Boards from Steam Exploded Pulps of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jaxq.) Fronds and Structural Characteristics of Lignin and Wall Polysaccharides in Steam Exploded Pulps to be Discussed for Self-Bindings. *Holzforschung* , 52 (4), 417-426.

Sobczak, L., Lang, R., & Haider, A. (2012). Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profiles. *Composites Science and Technology* (72), 550-557.

Soury, E., Behraves, A., Rouhani Estafahani, R., & Zolfaghari, A. (2009). Design, optimization and manufacturing of wood-plastic composite pallet. *Materials & Design* , 30, 4183-4191.

Stark, N., & Matuana, L. (2007). Characterization of weathered wood-plastic composite surfaces using FTIR spectroscopy, contact angle, and XPS. *Polymer Degradation and Stability* , 92, 1883-1890.

Suchsland, O., & Woodson, E. (1983). Effect of hardboard process variables on fiberbonding. *Forest Products Journal* , 33, 58.

Suchsland, O., & Woodson, G. (1985). Binderless fiberboard from two different types of fiber furnishes. *Forest Products Journal* , 35, 63.

Suchsland, O., & Woodson, G. (1987). Effect on cooking conditions on fiber bonding in dry-formed binderless hardboard. *Forest Products Journal* , 37 (11-12), 65 – 69.

Sun, X. (2005). Characteristics of degraded cellulose obtained from steam exploded wheat straw. *Carbohydrate Research* , 340 (1), 97.

Takatani, M. (2000). Effect of Lignocellulosic Materials on the Properties of Thermoplastic Polymer/Wood Composites. *Holzforschung* , 54 (2), 197 – 200.

Thitiyasook, P., Kittisupakorn, P., Niamsuwan, S., & Konakom, K. (2007). Modeling and optimisation of a rinsing process in a recycled plastic plant. *Computer Aided Chemical Engineering* , 24, 545-550.

Velásquez, J. (2003). Binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sinensis*. *Wood Science and Technology* , 37 (3), 269 – 278.

Velásquez, J. (2002). *Producción de tableros de fibras a partir de Miscanthus sinensis*. Tarragona.

Velásquez, J., & Ferrando, F. (2003). Effects of kraft lignin addition in the production of binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sinensis*. *Industrial Crops and Products* , 18, 17-23.

Velásquez, J., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2002). Binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sinensis*: the effect of a grinding process. *Holz als Roh- und Werkstoff* (60), 297- 302.

Wang, K., & Trada, P. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites (Part B)* 42), 856-873.

Wechsler, A., & Hiziroglu, S. (2007). Some of properties of wood- plastic composites. *Building and Environment* , 42, 2637-2644.

Wolfgang, S. *Steam explosion for biomass pre-treatment*. Reporte, Danish Technological institute.

Yeh, S.-K., & Gupta, R. (2008). Improved wood-plastic composites through better processing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 39, 1694-1699.

Ysambertt, F. (2004). *Interferencias analíticas asociadas al estudio de la distribución de pesos moleculares en fase orgánica de desechos lignicos del pulpado de papel* (Vol. 4). Multiciencias.

Zoorob, S., & Suparma, L. (2000). Laboratory desing and investigation of the properties of continously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphait). *Cement and Concrete Composites* , 2000, 233-242.

## ANEXOS

ANEXO 1  
 PROTOCOLO DE USO DEL EQUIPO PARA *STEAM EXPLOSION* ADAPTADO PARA  
 TRABAJOS CON *CHIPS* DE GUADUA

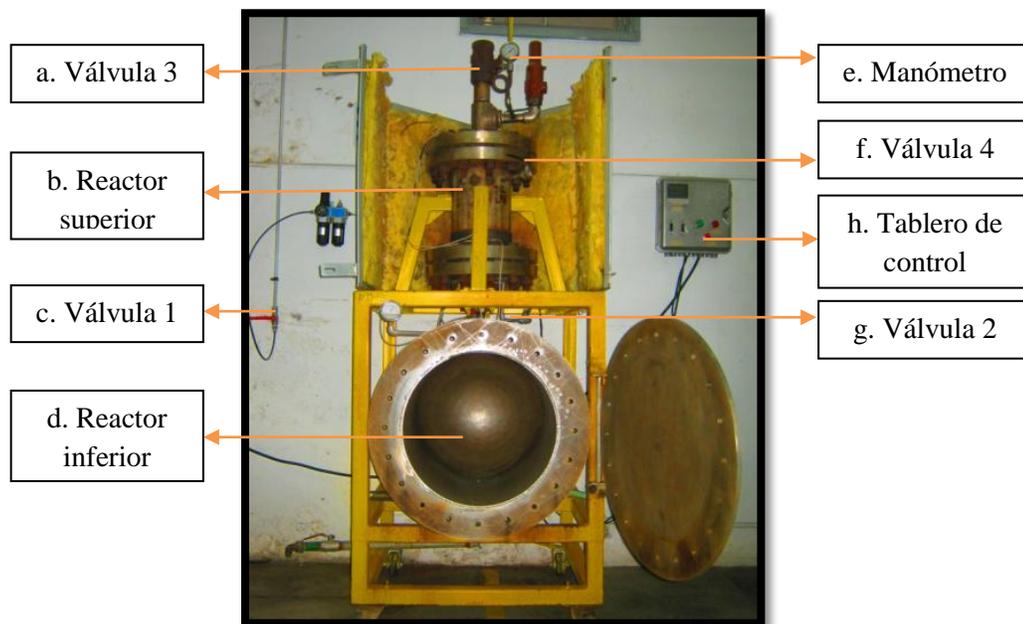


Figura 1. Equipo para *steam explosion*.

- a. Válvula 3: Para ingreso de material y salida de vapor.
- b. Reactor superior: Para someter el material a presión, temperatura y vapor.
- c. Válvula 1: Para ingreso del aire que acciona la válvula 2 por medio del control.
- d. Reactor inferior: Para contener el material y lixiviados que salen del reactor superior.
- e. Manómetro: Para medir la presión del reactor superior.
- f. Válvula 4: Para dosificar el agua en el reactor superior.
- g. Válvula 2: Para salida de material y vapor del reactor superior al reactor inferior.
- h. Tablero de control: Para control del equipo (figura 2).

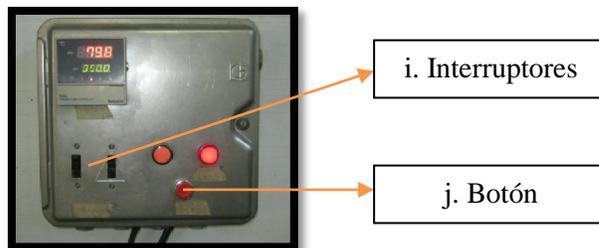


Figura 2. Tablero de control para equipo de *steam explosion*.

- i. Interruptores: Para encendido de resistencias del reactor y para encendido del control de la válvula 2.
- j. Botón: Para activar la apertura de la válvula 2.

**Nota:** Las dimensiones máximas de los *chips* o astillas de guadua son: 35 mm largo x 20 mm de ancho. Esto con el objeto de evitar atascamiento en la entrada y/o salida del reactor superior (figura 1).

1. Tener el material previamente pesado y separado para facilitar su manejo en la adición al equipo (máximo 200 g. por carga).
2. Tener los implementos listos: bandeja o balde, embudo, tela filtrante o tamiz malla #150 o #200, guantes, varilla y cronómetro.
3. Precalentar el reactor superior con una hora de antelación, para tal efecto se deben subir los dos interruptores del controlador, encender el compresor y abrir las válvulas 1 y 3.
4. Cerrar el compartimiento inferior (NO es necesario poner todos los tornillos para el lavado).
5. El lavado del equipo (antes de cada tratamiento y antes de apagar el equipo), debe iniciarse después de una hora de calentamiento donde la temperatura debe ser superior a los 100°C, asegurar que la válvula 3 esté abierta y adicionar un litro de agua por la válvula 4 y cerrarla, cuando esté saliendo vapor por la válvula 3 proceder a cerrarla, esperar a que la presión llegue alrededor de 50- 60 psi y liberar presión presionando constantemente el botón rojo que activa la apertura de la válvula 2 hasta liberar toda la presión.
6. Abrir la válvula 3 y esperar que libere todo el vapor del reactor superior.
7. Lavar con manguera el reactor inferior. Por seguridad solo se puede lavar mientras la válvula 3 esté abierta.
8. Cerrar el reactor inferior poniendo todos los tornillos procurando que quede bien cerrado para garantizar que en la liberación de presión no se pierda material, esto con el objeto de obtener un buen rendimiento del proceso.
9. Adicionar un litro de agua por la válvula 4 e inmediatamente adicionar poco a poco 100 g. del material por la válvula 3 procurando que no se atasque. Si esto sucede utilizar la varilla para removerlo y así facilitar su ingreso al equipo, inmediatamente adicionar el otro litro de agua por la válvula 4 y los otros 100 g. de material.
10. Cuando se termine de adicionar el material, se debe cerrar la válvula 4 y esperar que salga vapor por la válvula 3, cuando esto suceda cerrarla y empezar a cronometrar el tiempo.
11. La severidad se calcula cada 5 minutos o menos mediante la ecuación,

$$SE = \log \left( \int \exp^{(T_{exp} - (100/14.75))} . dt \right) ,$$

donde,

$T_{exp}$  = Temperatura experimental en °C.

t= Tiempo en min.

La severidad se integra en el tiempo con el método numérico del trapecio, hasta obtener la severidad deseada.

12. Como los intervalos de tiempo de medida son de 5 minutos se puede aprovechar este tiempo para lavar y preparar los implementos para descargar el material del equipo.
13. Cuando se alcance la severidad deseada se debe proceder a presionar constantemente el botón rojo que activa la apertura de la válvula 2 hasta liberar toda la presión.
14. Abrir la válvula 3, si está muy dura seguir presionando el botón rojo para liberar presión.
15. Poner la bandeja en el piso, retirar los tornillos de la tapa del reactor inferior, no abrir la tapa abruptamente debido a que parte del material queda en ella y se puede perder, recoger en la bandeja todo el material y los fluidos que se encuentre en el reactor inferior. La descarga del material se puede hacer simultáneamente con el lavado del reactor inferior procurando que todo caiga en la bandeja.
16. Filtrar el material con la tela o tamiz malla # 150 o # 200 para garantizar la separación de la mayor cantidad de lixiviados o extractivos del tratamiento sin que se pierda el material sólido.
17. Dependiendo del objetivo del tratamiento, será necesario recoger el material sólido y los extractivos.
18. En caso de que se requiera montar más material en el equipo, es indispensable lavar el equipo. Para esto se debe repetir el proceso anterior desde el paso 4.
19. En caso de que no se requiera montar más material en el equipo, es recomendable lavar el equipo. Para esto se debe repetir el proceso anterior del paso 4 al 7.
20. Finalmente, se debe proceder a cerrar la válvula 1, apagar todos los equipos (interruptores de tablero de control y compresor), y cerrar la válvula 3.

ANEXO 2  
FICHAS TÉCNICAS EQUIPOS UTILIZADOS

<b>HORNO</b>	
Marca:	DIES
Modelo:	Thermolab TH 115
Voltaje:	115 V
Potencia:	1.500 W
Serie No.	40402

<b>MOLINO</b>	
Marca:	Retsch
Modelo:	SM100 <i>standard</i>
Voltaje:	120 V - 60 Hz
Potencia:	1.500 W
Serie No.	124250521

<b>EQUIPO AGITADOR DE TAMIZ</b>	
Marca:	The W.S. Tyler Company
<b>MOTOR:</b>	Siemens
Modelo:	Monofásico
Voltaje:	115/230 V
Potencia:	746 W
Vel. Rot.	1.735 rpm
Serie No.	SP J08

ANEXO 3  
DIARIO DE CAMPO

		<b>BITÁCORA DE TRABAJO</b>			
ACTIVIDAD ASIGNADA	ACTIVIDAD REALIZADA	FECHA INICIO	FECHA FINAL	HORAS TOTALES	APROBADO
Reunión con Javier Cruz para definir la tesis	Definición tesis en asistencia a la investigación	06/08/2013	07/10/2013	1	
Reunión con Jorge Fajardo	Contextualización del proyecto	08/08/2013	08/08/2013	4	
Reunión con Javier Cruz	Definición temas a investigar	09/08/2013	09/08/2013	1	
Estudio temas relacionados con el proyecto	Estudio sobre: Termoplásticos, Polipropileno, compuestos, Materiales lignocelulósicos, procesos de transformación, caracterización de materiales, resistencia de materiales	12/08/2013	16/08/2013	40	
Reunión con Javier Cruz para definir actividad de apoyo	Definición actividades de apoyo en el proyecto	07/10/2013	07/10/2013	1	
Estudio sobre procedimientos a seguir en laboratorios	Estudio a seguir para realizar steam explosion, secado, molido y tamizado	15/10/2013	15/10/2013	4	
Elaboración anteproyecto	Elaboración anteproyecto en asistencia a la investigación	04/11/2013	08/11/2013	20	
Capacitación e inicio de trabajo en los laboratorios	Capacitación en los equipos e inicio de procesos en el steam	12/11/2013	12/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Tratamiento de fibras en el Steam Explosion y secado del material	13/11/2013	13/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado y molido del material e informes	14/11/2013	14/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado y molido del material e informes	15/11/2013	15/11/2013	12	
Realización de informes y retroalimentación	Realización de informes y retroalimentación	16/11/2013	17/11/2013	10	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado y molido del material e informes	18/11/2013	18/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado y molido del material e informes	19/11/2013	19/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	20/11/2013	20/11/2013	12	

 Universidad Pontificia Bolivariana		BITÁCORA DE TRABAJO			
ACTIVIDAD ASIGNADA	ACTIVIDAD REALIZADA	FECHA INICIO	FECHA FINAL	HORAS TOTALES	APROBADO
Reunión con Javier Cruz	Correcciones anteproyecto asistencia a la investigación	20/11/2013	20/11/2013	1	
Trabajo laboratorios	Molido y tamizado del material e informes	21/11/2013	21/11/2013	12	
Reunión con Javier Cruz	Correcciones anteproyecto asistencia a la investigación	21/11/2013	21/11/2013	1	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado y tamizado del material e informes	22/11/2013	22/11/2013	12	
Realización de informes y retroalimentación	Realización de informes y retroalimentación	23/11/2013	24/11/2013	10	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	25/11/2013	25/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	26/11/2013	26/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	27/11/2013	27/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	28/11/2013	28/11/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	29/11/2013	29/11/2013	12	
Realización de informes y retroalimentación	Realización de informes y retroalimentación	30/01/1900	01/11/2013	10	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	02/12/2013	02/12/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	03/12/2013	03/12/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	04/12/2013	04/12/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	05/12/2013	05/12/2013	12	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	06/12/2013	06/12/2013	12	
Realización de informes y retroalimentación	Realización de informes y retroalimentación	07/12/2013	08/12/2013	10	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	09/12/2013	09/12/2013	12	

## BITÁCORA DE TRABAJO

ACTIVIDAD ASIGNADA	ACTIVIDAD REALIZADA	FECHA INICIO	FECHA FINAL	HORAS TOTALES	APROBADO	
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	10/12/2013	10/12/2013	12		
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	11/12/2013	11/12/2013	12		
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	12/12/2013	12/12/2013	12		
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	13/12/2013	13/12/2013	12		
Realización de informes y retroalimentación	Realización de informes y retroalimentación	07/12/2013	08/12/2013	10		
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	16/12/2013	16/12/2013	12		
Trabajo laboratorios	Steam explosion, secado, molido y tamizado del material e informes	17/12/2013	17/12/2013	12		
Embalaje material para enviarlo a ecuador	Embalaje material	18/12/2013	18/12/2013	3		
Realización de informe y retroalimentación final	Realización de informe y retroalimentación final	19/12/2013	19/12/2013	3		
Reunión con Javier Cruz y Jorge Fajardo	Informe y entrega final del material	21/01/2014	21/01/2014	2		
Reunión con Javier Cruz	Realización documento trabajo de grado	22/01/2014	22/01/2014	1		
Acompañamiento a Jorge Fajardo	Visitas Universidad de Antioquia y EAFIT	23/01/2014	23/01/2014	8		
Escritura documento de trabajo de grado	Escritura documento de trabajo de grado	14/01/2014	19/01/2014	40		
Reunión con Javier Cruz	Correcciones documento de trabajo de grado	20/01/2014	20/01/2014	1		
Correcciones documento de trabajo de grado	Correcciones documento de trabajo de grado	21/01/2014	21/01/2014	3		
Reunión con Javier Cruz	Correcciones finales documento de trabajo de grado	04/02/2014	04/02/2014	1		
				<b>Horas totales</b>		<b>497</b>

ANEXO 4  
ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN EN EL PROYECTO  
“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO  
REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA  
KUNTH (GAK)”

DAIMLER LONDOÑO RUIZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN

2013

ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN EN EL PROYECTO  
“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO  
REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA  
KUNTH (GAK)”

DAIMLER LONDOÑO RUIZ

Anteproyecto de trabajo de grado

Director

LUIS JAVIER CRUZ RIAÑO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN

2013

## CONTENIDO

	Página
1. PARTICIPANTES.....	5
1.1. Datos de los estudiantes.....	5
1.2. Datos del director.....	5
1.3. Datos del grupo de investigación.....	5
2. MODALIDAD.....	6
3. TEMA DEL PROYECTO.....	7
3.1. Descripción.....	7
3.2. Dedicación al proyecto (en porcentajes) .....	7
3.3. Áreas a trabajar.....	8
4. OBJETIVOS.....	9
4.1. Objetivo general.....	9
4.2. Objetivos específicos.....	9
5. JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS.....	10
6. ALCANCE.....	11
7. RECURSOS.....	12
7.1. Recursos humanos.....	12
8. PRESUPUESTO.....	13
9. CRONOGRAMA.....	14
10. REFERENCIAS.....	15

## LISTA DE TABLAS

	Página
1. Dedicación al proyecto.....	7
2. Áreas a trabajar.....	8
3. Presupuesto.....	13
4. Cronograma.....	14

## 1. PARTICIPANTES

### 1.1. DATOS DEL ESTUDIANTE

- Nombre: Daimler Londoño Ruiz
- Facultad: Ingeniería Mecánica

### 1.2. DATOS DEL DIRECTOR

- Nombre: Luis Javier Cruz Riaño
- Facultad: Ingeniería Mecánica
- Título(s): IM, Ph.D. Ingeniero Industrial
- Fecha terminación pregrado: 1984
- Fecha terminación doctorado: 1997

### 1.3. DATOS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

- Nombre: Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales (GINUMA)
- Facultad: Ingeniería Mecánica.
- Información General: El tema de trabajo más fuerte de este grupo es el de materiales compuestos. También desarrolla investigaciones en plásticos, metales y cerámicos. Su objetivo central es generar una comunidad académica entorno a sus quehaceres propios.

El grupo está conformado por 100 personas, de las cuales 19 son investigadores. Actualmente se encuentra en el escalafón de COLCIENCIAS en la máxima categoría A+.

## 2. MODALIDAD

La modalidad del proyecto de grado será de servicio a la investigación ya que la participación del estudiante estará enfocada en la asistencia a la investigación en el proyecto “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES CORTAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GAK)” que se está ejecutando entre la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador (Sede Cuenca) y el Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales ,GINUMA, de la UPB, proyecto que servirá de base para que el doctorando ecuatoriano, Jorge Fajardo, realice su tesis doctoral. Se pretende con este tipo de actividades fortalecer el trabajo conjunto entre el pregrado y la formación avanzada de la UPB.

### 3. TEMA DEL PROYECTO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN

En el marco del proyecto binacional “Caracterización mecánica de un compuesto polimérico reforzado con fibras naturales cortas de guadua angustifolia kunth (GAK)”, una de las fases iniciales trascendentales está relacionada con la extracción de fibras de guadua por la técnica Steam Explosion y su preparación mediante molienda mecánica y tamizado, como preparación de las mismas para ser usadas en la elaboración de un material compuesto a base de polipropileno. Esta actividad será el compromiso y la responsabilidad del estudiante de pregrado con el fin de surtir al doctorando, Jorge Fajardo, de la cantidad de fibra de guadua debidamente preparada para su investigación doctoral.

#### 3.2. DEDICACIÓN AL PROYECTO (EN PORCENTAJES)

TIPO	DESCRIPCIÓN	%
Teórico	Investigación	30
Práctico	Trabajo de laboratorio	70

Tabla 1. Dedicación al proyecto

### 3.3. ÁREAS A TRABAJAR

Las áreas a trabajar durante el proyecto son propias de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Estas áreas están relacionadas con diferentes tipos de materiales, reforzando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera.

ÁREAS	%
Técnicas de transformación	10
Polímeros y Compuestos	10
Materiales lignocelulósicos	10
Caracterización de materiales	10
Experimentación de laboratorio	60
Total	100

Tabla 2. Áreas a trabajar.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Asistir al Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA, en el desarrollo de un proyecto binacional Colombo-Ecuatoriano, durante un tiempo de 480 horas.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar trabajo de laboratorio en la extracción de la fibra de guadua GAK bajo el método de Steam Explosion.
- Realizar la molienda mecánica y el tamizado de la fibra de guadua para obtener las dimensiones requeridas para la elaboración del material compuesto.
- Realizar actividades encomendadas por el director para asistir su labor investigativa.
- Elaborar bitácoras con las actividades desarrolladas en la asistencia para mantener un informe detallado de las horas cumplidas.

## 5. JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS

Las actividades realizadas servirán de apoyo y complemento a las labores investigativas y de desarrollo del Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales, GINUMA. Este trabajo de grado fortalecerá la interacción de los programas de pregrado con el sistema de formación avanzada de la UPB.

## 6. ALCANCE

El alcance está definido por la cantidad de horas de trabajo. Se dará por concluido cuando se cumplan 480 horas de trabajo, documentadas en las bitácoras las cuales serán refrendadas por el director del trabajo de grado.

## 7. RECURSOS

### 7.1. RECURSOS HUMANOS

Estudiante: Daimler Londoño Ruiz

Cédula: 71.375.709

ID: 000089142

Programa: Ingeniería Mecánica

Teléfono(s): 3007803346 / 437 16 23

E-mail: daimler.londono@alfa.upb.edu.co

Tiempo de dedicación: 480 horas

Director: Luis Javier Cruz Riaño

Programa: Ingeniería Mecánica

Empresa: Universidad Pontificia Bolivariana

Teléfono(s): 354 45 32 - 448 83 88 Ext. 13287

E-Mail: luis.cruz@upb.edu.co

Asesor: Jorge Isaac Fajardo Seminario

Empresa: Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (sede Cuenca)

Grupo de Investigación en Materiales

Calle Vieja 12 – 30 y Elia Liut

Teléfono(s): (593) 0999163400

Cuenca ECO10105

ECUADOR

E-Mail: jfajardo@ups.edu.ec

## 8. PRESUPUESTO

En la Tabla 3 se encuentra el presupuesto necesario para la realización del trabajo de grado.

Recursos	Participación [miles de pesos]			Implica desembolso	
	Estudiante	UPB	UPS	Si	No
				(Nuevo)	(Existente)
Bibliografía (Artículos, Libros, Etc.)	100	350		X	X
Papelería (Fotocopias e impresión)	350			X	
Telecomunicaciones	100	100		X	X
Uso de equipos de laboratorios		5000			X
Transporte	100			X	
Alimentación	200			X	
Trabajo Estudiante [\$2,500/h]	1200			X	
Trabajo Director [\$60,000/h]		6000			X
Materiales			1000	X	
Subtotal	2050	11450	1000		
Imprevistos (10%)	205	1145	100		
TOTAL	2255	12595	1100		
GRAN TOTAL	15950				

Tabla 3. Presupuesto

## 9. CRONOGRAMA

El trabajo de grado tendrá una duración de 3.5 meses, inicia en el mes de Agosto de 2013, para finalizar en el mes de Enero de 2014. En la Tabla 4 se muestra el cronograma a seguir durante el tiempo de desarrollo.

Actividad	Descripción	Agosto	Noviembre	Diciembre	Enero	Total [Horas]
1	Revisión bibliográfica	X	X		X	60
2	Planificación de la experimentación	X	X	X	X	30
3	Trabajo de laboratorio		X	X	X	390
Horas totales para la elaboración del proyecto						480
Número de estudiantes						1
Horas totales de trabajo por estudiante						480

Tabla 4. Cronograma

## 10. REFERENCIAS

Adhikary, K., Pang, S., & Staiger, M. (2008). Dimensional stability and mechanical behavior of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering* , 39, 807-815.

Afrifah, K., Hickok, R., & Matuana, L. (2010). Polybutene as a matrix for wood plastic composites. *Composites Science and technology* , 70, 167-172.

Askeland, D. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (Cuarta edición ed.). México: Thomson.

Ayrilmis, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., & Bauchongkol, P. (2001). Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites. *Polymer Degradation and Stability* , 96, 818-822.

Barreto, C. (2007). *Obtención y evaluación de un nuevo material compuesto de polímero colado cargado con material de residuo*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Baumeister, T., Avallone, E., & Baumeister III, T. (1984). *Manual del Ingeniero Mecánico* (Segunda edición en español ed.). México: McGRAW-HILL.

Bolin, C., & Smith, S. (2011). Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. *Journal of Cleaner Production* , 19, 620-629.

Callister Jr, W. D. (2009). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* (Segunda edición ed.). México: Limusa Wiley.

Crookston, K., Young, T., Harper, D., & Frank, G. (2011). Statistical reliability analyses of two wood plastic composite extrusion processes. *Reliability Engineering & System Safety* , 96, 172-177.

Fabiyi, J., & McDonald, A. (2010). Effect of wood species on property and weathering performance of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 41, 1434-1440.

Fabiyi, J., McDonald, A., Morrell, J., & Freitag, C. (2011). Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 42, 501-510.

Fabiyi, J., McDonald, A., Wolcott, M., & Griffiths, P. (2008). Wood plastic composites weathering: Visual appearance and chemical changes. *Polymer Degradation and Stability* , 93, 1405-1414.

Garces, W., & Jairo, S. (2004). Caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica termoplástica y fibras naturales para aplicaciones automotrices. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Kerguelén, H., Gil, A., Cruz, J., & Gañán, P. (2007). Degradación térmica de materiales termoplásticos potencialmente empleados en labores agrícolas. *Universitas Científica* , X, 50-54.

Lei, Y., & Wu, Q. (2010). Wood plastic composites based on microfibrillar blends of density polyethylene/poly(ethylene terephthalate). *Bioresource Technology* , 110, 3665-3671.

Lomelí, M., Ochoa, H., Fuentes, F., García, S., & Cerpa, M. (2009). Evaluation of accelerated decay of wood plastic composites by Xylophagus fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* , 63, 1030-1035.

Muasher, M., & Sain, M. (2006). The efficacy of photostabilizers on the color change of wood filled plastic composites. *Polymer Degradation and Stability* , 91, 1156-1165.

Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K. (2007). Development of recycled Pet fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites* , 29, 448-455.

Perdomo, D., & Viana, J. (2011). *Tableros aglomerados de fibra de plátano y fibra de vidrio*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

Soury, E., Behraves, A., Rouhani Estafahani, R., & Zolfaghari, A. (2009). Design, optimization and manufacturing of wood-plastic composite pallet. *Materials & Design* , 30, 4183-4191.

Stark, N., & Matuana, L. (2007). Characterization of weathered wood-plastic composite surfaces using FTIR spectroscopy, contact angle, and XPS. *Polymer Degradation and Stability* , 92, 1883-1890.

Thitiyasook, P., Kittisupakorn, P., Niamsuwan, S., & Konakom, K. (2007). Modeling and optimisation of a rinsing process in a recycled plastic plant. *Computer Aided Chemical Engineering* , 24, 545-550.

Wechsler, A., & Hiziroglu, S. (2007). Some of properties of wood- plastic composites. *Building and Environment* , 42, 2637-2644.

Yeh, S.-K., & Gupta, R. (2008). Improved wood-plastic composites through better processing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 39, 1694-1699.

Zoorob, S., & Suparna, L. (2000). Laboratory desing and investigation of the properties of continously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphait). *Cement and Concrete Composites* , 2000, 233-242.