

**DESARROLLO DE UN MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE TACONES  
CON RESIDUOS DE MADERA**

**ELSY CAROLINA ALMANZA CORTES**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2017**

**DESARROLLO DE UN MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE TACONES  
CON RESIDUOS DE MADERA**

**ELSY CAROLINA ALMANZA CORTES**

**Proyecto Integral de Grado para optar el título de  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2017**

## Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Ing. Fernando Moreno  
Presidente del Jurado

---

Ing. Leonardo Herrera  
Jurado

Bogotá D.C., Marzo de 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General.

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA**

Decano de la Facultad de Ingeniería.

**Dr. JULIO CESAR CIFUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería Química.

**Dr. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo de docentes no son responsables por los criterios o ideas expuestas en el presente documento. Esto corresponde únicamente al autor.

## DEDICATORIA

Este proyecto esta dedicado a mi familia por su apoyo incondicional en este proceso, por sus consejos y enseñanzas en cada etapa de mi vida; por siempre estar junto a mi y por su amor para hacer de mi la persona que soy.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por la sabiduría que me dio para alcanzar este logro, por su amor y bondad infinita, por bendecir mi vida con mi familia y llenar cada uno de mis días con su presencia.

A mi mamá por ser mi motor, mi mujer ejemplo, por su esfuerzo y dedicación para hacer de mí la persona que soy, por su sacrificio y amor para brindarme esta oportunidad; gracias por ser la persona que me ha enseñado que amando a Dios sobre todas las cosas no hay imposibles.

A mi familia por permitirme conocer a Dios y su amor, por apoyarme y acompañarme en este proceso, por darme la oportunidad de convertirme en profesional siendo ustedes mi motivación, por promover mis sueños, confiar en mis capacidades y estar siempre a mi lado.

A la familia Ortiz Romero por su dedicación, amor y entrega desinteresada, ya que sin su apoyo habría sido más difícil alcanzar esta meta.

A la fábrica de zapatos Lisantiny por haber puesto a mi disposición sus instalaciones para desarrollar este proyecto y compartir sus conocimientos para alcanzar el objetivo propuesto.

Al Ingeniero Fernando Moreno, orientador del proyecto, por su apoyo y dedicación para alcanzar mi título como profesional.

A la Universidad de América y a sus docentes porque contribuyeron en mi desarrollo como profesional aportando día a día sus conocimientos.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. GENERALIDADES	23
1.1 INDUSTRIA FORESTAL EN COLOMBIA	23
1.2 APROVECHAMIENTO FORESTAL	23
1.3 GENERALIDADES DE LA MADERA	24
1.3.1 Propiedades de la madera	24
1.3.1.1 Propiedades químicas	24
1.3.1.2 Propiedades físicas	24
1.3.1.3 Propiedades mecánicas	26
1.3.2 Clasificación de la madera	27
1.3.2.1 Madera natural	27
1.3.2.2 Madera artificial	27
1.3.3 Especies maderables en Colombia	28
1.3.4 Fuentes de residuos de madera	29
1.4 MATERIAL COMPUESTO (MC)	29
1.4.1 Clasificación de los materiales compuestos (MCs)	30
1.4.1.1 Según el tipo de matriz	30
1.4.1.2 Según el tipo de refuerzo	32
1.4.2 Materiales compuestos reforzados con fibras naturales versus fibras convencionales	33
1.5 INDUSTRIA DEL CALZADO EN COLOMBIA	34
2. FABRICACIÓN DE UN TACÓN DE MADERA	35
2.1 generalidades del tacón	35
2.2 PROCESO ACTUAL DE FABRICACIÓN DE TACONES EN LA FÁBRICA DE ZAPATOS LISANTINY	36
2.2.1 Materia prima	36
2.2.2 Equipos	36
2.3 DIAGRAMAS DE PROCESO	39
2.3.1 Diagrama general del proceso	39
2.3.2 Diagrama de flujo de bloques (BFD)	39
2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL TACÓN DE MADERA	40
2.4.1 Recepción de materia prima	40
2.4.2 Diseño del tacón	40
2.4.3 Digitalización del diseño	40
2.4.4 Transporte de materia prima	40
2.4.5 Corte	40



2.4.6 Moldeo	40
2.4.7 Perforación	40
2.4.8 Secado	40
2.4.9 Lijado	40
2.4.10 Barnizado	41
2.4.11 Calidad	41
2.4.12 Ensamble	41
2.5 PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DEL TACÓN DE MADERA FABRICADO EN LISANTINY	41
2.6 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE ASERRÍN EN EL DEPÓSITO MADERAS LA 170	41
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA CONFORMACIÓN DE PROBETAS Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS MECÁNICOS	43
3.1 MATERIALES	43
3.2 EQUIPOS	44
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL ASERRÍN	46
3.3.1 Análisis granulométrico de las partículas	46
3.3.2 Determinación del contenido de humedad de las partículas base seca	48
3.3.3 Determinación de la densidad	50
3.3.4 Determinación del pH	52
3.4 GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS PARA LOS ENAYOS DE DUREZA Y TRACCIÓN	54
3.4.1 Número de muestras	54
3.4.2 Dimensiones	54
3.5 CONFORMACIÓN DE MOLDES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS A UTILIZAR EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS	55
3.6 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA DETERMINAR LAS COMPOSICIONES DE LAS PROBETAS A CONFORMAR PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS	56
3.6.1 Preparación de las composiciones	57
3.6.2 Selección de las mejores composiciones	56
3.7 PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	61
3.7.1 Ensayo de dureza shore D	61
3.7.2 Ensayo de tracción	62
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
4.1 RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA SHORE D	63
4.1.1 Dureza shore D promedio	63
4.2 RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN	64
4.2.1 Deformación Vs. Esfuerzo	64
4.3 PROPIEDADES DEL NUEVO MATERIAL	67

5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TACÓN UTILIZANDO EL NUEVO MATERIAL	68
5.1 Materias primas	68
5.2 Equipos	68
5.3 Proceso de producción	68
5.3.1 Recepción de materias primas	68
5.3.2 Secado	69
5.3.3 Pesaje de materias primas	69
5.3.4 Preparación de resina	69
5.3.5 Mezcla y homogenización	69
5.3.6 Llenado y moldeo	69
5.3.7 Desmolde	70
5.3.8 Calidad	70
5.3.9 Ensamble	70
5.4 DIAGRAMAS DE PROCESO	71
5.4.1 Diagrama general	71
5.4.2 Diagrama de flujo en bloques (BFD)	71
5.5 OPERACIONES UNITARIAS	72
5.5.1 Recepción de materias primas	72
5.5.2 Adecuación de materias primas	72
5.5.3 Pesaje de materias primas	73
5.5.3.1 Pesaje de aserrín	73
5.5.3.2 Pesaje de resina	73
5.5.3.3 Preparación de la resina	73
5.5.4 Mezclado	73
5.5.5 Lenado y moldeo	74
5.5.6 Curado	74
5.5.7 Desmolde	74
5.5.8 Calidad	75
5.5.9 Ensayo de clavado	75
5.5.10 Ensamble	75
5.6 CARACTERÍSTICAS DEL TACÓN FABRICADO CON EL NUEVO MATERIAL	76
6. ANÁLISIS DE COSTOS	77
6.1 COSTOS	77
6.1.1 Materiales	77
6.1.2 Insumos	78
6.1.3 Mano de obra	78
6.1.4 Costos de energía	79
6.1.5 Depreciación	79
6.2 COSTO DE PRODUCCIÓN DEL TACÓN CON EL NUEVO MATERIAL Vs. COSTO DE PRODUCCIÓN DEL TACÓN DE MADERA	79
7. CONCLUSIONES	81

8. RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	87

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Fuentes de residuos de madera	29
Cuadro 2. Especificaciones de la resina epóxica	44

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Propiedades mecánicas tacón de madera	41
Tabla 2. Resultados de análisis granulométrico	47
Tabla 3. Resultados determinación contenido de humedad	49
Tabla 4. Resultados de determinación de pH	54
Tabla 5. Composición de las probetas para ensayo de dureza	57
Tabla 6. Composición de las probetas para ensayo de tracción	57
Tabla 7. Deformación Vs. esfuerzo de la madera	64
Tabla 8. Deformación Vs. esfuerzo de la resina	64
Tabla 9. Deformación Vs. esfuerzo del MC	65
Tabla 10. Propiedades mecánicas del nuevo material	67
Tabla 11. Propiedades mecánicas tacón nuevo material/tacón madera	76
Tabla 12. Costo de materias primas	78
Tabla 13. Costo de mano de obra	79
Tabla 14. Costo de energía consumida	79
Tabla 15. Comparación costos de producción entre tacones	80

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
Grafica 1. Energía requerida para la reducción de algunas fibras	34
Gráfica 2. Promedio de dureza shore D	63
Gráfica 3. Esfuerzo de flexión Vs. Deformación de la madera	65
Gráfica 4. Esfuerzo de flexión Vs. Deformación de la resina	66
Gráfica 5. Esfuerzo de flexión Vs. Deformación del material compuesto	66

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Demostración propiedades mecánicas de la madera	27
Figura 2. Estructura de los MCs en función del tipo de refuerzo	32
Figura 3. Tipos de tacón	35
Figura 4. Sierra de cinta	36
Figura 5. Trompo de carpintería	37
Figura 6. Lijadora de disco	37
Figura 7. Perforadora	38
Figura 8. Horno de secado	38
Figura 9. Aserrín	43
Figura 10. Resina epóxica	44
Figura 11. Probeta para ensayo de dureza	54
Figura 12. Probeta para ensayo de tracción	54

## LISTA DE DIAGRAMAS

	<b>pág.</b>
Diagrama 1. Producción general de un tacón en Lisantiny	39
Diagrama 2. Producción de tacón de madera	39
Diagrama 3. Procedimiento de análisis granulométrico	47
Diagrama 4. Procedimiento de determinación contenido de humedad	49
Diagrama 5. Procedimiento de determinación de la densidad	51
Diagrama 6. Procedimiento de determinación de pH	53
Diagrama 7. Procedimiento de preparación de composición 10	59
Diagrama 8. Procedimiento prueba de clavado	60
Diagrama 9. Procedimiento ensayo de dureza shore D	61
Diagrama 10. Procedimiento ensayo de tracción	62
Diagrama 11. Producción general de un tacón con el nuevo material	71
Diagrama 12. Producción de tacón con el nuevo material	71
Diagrama 13. Recepción de materias primas	72
Diagrama 14. Mezcla de aserrín-resina	73
Diagrama 15. Llenado y moldeo	74
Diagrama 16. Desmolde de la pieza	75
Diagrama 17. Control de calidad	75
Diagrama 18. Ensamble	76



## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
Ecuación 1. Determinación porcentaje de humedad	48
Ecuación 2. Determinación de volumen	50
Ecuación 3. Determinación de densidad	50
Ecuación 4. Determinación de pH	52
Ecuación 5. Balance de masa en preparación de la resina	74

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Datos de resultados ensayo de tracción a probetas de madera, resina y material compuesto	88
Anexo B. Gráficas ensayo de tracción a probetas de madera, resina y Material compuesto	96

## GLOSARIO

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS:** conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.<sup>1</sup>

**ASERRÍN:** producto recolectado de los equipos de corte y cepillado en la empresa MADERAS LA 170 LTDA., es característicamente de granulometría mayor que el material fino que se obtiene de las operaciones de lijado.

**CEDRO:** árbol de gran tamaño cuya madera es duradera, ligera y estable, y la única que por el aceite natural que contiene ahuyenta los insectos evitando su rápido ataque.<sup>2</sup>

**COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA (CMP):** material compuesto que consiste en un polímero incorporado a una fase de refuerzo como fibras o polvos, donde se combinan las propiedades aportadas por los polímeros tales como la resistencia a la oxidación, bajo peso y ductilidad con altas resistencias mecánicas y la rigidez de las fibras que se le agregan.<sup>3</sup>

**ENSAYO MECÁNICO:** aquel que pretende medir la capacidad de un material para soportar esfuerzos de diferente tipo.<sup>4</sup>

**FIBRA:** componente de un material compuesto, puede ser de origen natural o artificial, define las propiedades mecánicas del material.<sup>5</sup>

**MADERA:** material ortotrópico, principal contenido del tronco de los árboles.<sup>6</sup>

**POLÍMERO:** macromolécula formada por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.<sup>7</sup>

**PROBETA:** pieza de dimensiones normalizadas contituida por un determinado material cuyas características se desea estudiar.<sup>8</sup>

---

<sup>1</sup> FAO. Aprovechamiento potencial de los residuos de madera para la producción de energía. [En línea]. [Noviembre 12 de 2016]. Disponible en: (<http://www.fao.org/docrep/T0269S/t0269S10.htm>)

<sup>2</sup> MADERAS SOTENIBLES. Carapa guianensis. [En línea]. [Septiembre 1 de 2016]. Disponible en: ([http://maderassostenibles.com/esp/hardwood\\_timber\\_products/andiroba.shtml](http://maderassostenibles.com/esp/hardwood_timber_products/andiroba.shtml))

<sup>3</sup> ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Thomson. 4º Edición. Página 514

<sup>4</sup> Ibid., p.130

<sup>5</sup> Ibid., p.525

<sup>6</sup> Ibid., p.553

<sup>7</sup> Ibid., p.17

<sup>8</sup> Ibid., p.173

## RESUMEN

El presente proyecto se realiza con el objetivo de dar un uso integral a la madera a partir de los residuos generados durante su corte y moldeo, desarrollando un material que cumpla con las propiedades requeridas para ser utilizado como materia prima en la fabricación de tacones para zapatos de mujer actualmente elaborados en ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno), los cuales son comprados en la fábrica de zapatos Lisantiny, aprovechando de manera óptima el aserrín, que en el depósito MADERAS LA 170 no representa ningún tipo de beneficio, obteniendo productos de mayor valor agregado en otro sector y aportando a la conservación del medio ambiente.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó la caracterización del proceso que años atrás se llevaba a cabo para la fabricación de tacones en Lisantiny, el cual por decisiones administrativas fue reemplazado por la compra del producto ya terminado a terceros; se determinaron materias primas, operaciones unitarias y propiedades características de los tacones elaborados en la fábrica de zapatos.

Posteriormente se realizó la selección del compuesto matriz polimérica (CMP) que proporcionó mejor homogenización, menor tiempo de secado, alta rigidez, resistencia y textura lisa; este porcentaje de mezcla se determinó sometiendo a diferentes ensayos físicos y químicos probetas de distintas composiciones de aserrín-CMP. Para la conformación de las probetas y los moldes, se tuvieron en cuenta las respectivas normas establecidas por la ASTM (American Society for Testing Materials).

Una vez comparados los datos de los ensayos realizados, se seleccionaron las probetas que arrojaron los mejores resultados para proceder a la conformación de tacones con las composiciones dadas. Seguido a esto, los tacones fabricados se sometieron a las condiciones de uso para las que están dispuestos, siendo utilizados en una muestra de calzado femenino donde se determinó que este material cumple con los requerimientos necesarios para ser implementado en toda la línea de calzado. Finalmente se realizó un análisis donde se determinó el costo de implementación de este proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** residuo, material compuesto, ensayo físico, tacón, costo

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mercado de recursos forestales ocupa el tercer lugar después del petróleo y el gas. Colombia es un país que cuenta con un gran sector dedicado al aserrado, siendo una de las principales actividades económicas en determinadas zonas del territorio nacional. El depósito de maderas MADERAS LA 170 se ocupa del procesamiento de la madera desde corte, transporte, almacenamiento y moldeo, hasta su transformación en objetos de uso práctico; esta serie de operaciones genera 50 Kg/día de residuos (aserrín), los cuales se acumulan dentro de las instalaciones y son tratados como desperdicio, pues en la actualidad no se tiene un sistema adecuado para el manejo y disposición de estos y por ende este recurso no está siendo aprovechado.

Este proyecto es un estudio experimental por medio del cual se plantea una propuesta que busca aprovechar lo que para una industria es un residuo que no representa ningún beneficio, de tal forma que en otra sea una materia prima que cumpla con las características del proceso y con las propiedades necesarias para ser utilizado en la fabricación de tacones.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un material para la fabricación de tacones utilizando los residuos generados durante el moldeo de la madera.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Diagnosticar el proceso de fabricación actual de un tacón y sus propiedades características
2. Determinar la proporción de mezcla adecuada de reforzante – matriz polimérica a nivel laboratorio evaluando la calidad y el comportamiento del nuevo material
3. Establecer el proceso de fabricación del tacón utilizando el nuevo material
4. Realizar análisis de costos del proyecto

## **1. GENERALIDADES**

En este capítulo se presenta una descripción general de la madera, sus propiedades características y su importancia en la actualidad enfatizando en el desempeño de esta en la fabricación de materiales compuestos. Se describen los materiales compuestos, especificando los tipos de matriz y de refuerzo, exponiendo algunas de sus posibles aplicaciones.

### **1.1 INDUSTRIA FORESTAL EN COLOMBIA**

En el mundo se estima que existe una superficie de bosques cercana a los 3.870 millones de hectáreas, de las cuales el 95% corresponde a bosques naturales integrados por bosques autóctonos y el restante 5% corresponde a plantaciones forestales. El mercado de productos forestales ocupa hoy en día el tercer lugar en el mundo después del petróleo y el gas, con un valor anual de transacciones que se aproxima a los 100 billones de dólares.

El sector maderero en Colombia genera cerca de 90.000 empleos directos y 280.000 indirectos al ser la fabricación de muebles el quinto sector más dinámico entre 66, generando un aporte del 5.2% del total de las empresas manufactureras registradas en el país. El último estudio de consumo suministrado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural muestra que Colombia consume para usos industriales 4.000 metros cúbicos anuales de madera, del cual el 81% del volumen procede de bosques naturales, el 12.4% de plantaciones forestales y el restante 3.5% de maderas importadas.

Partiendo de estas cifras, la deforestación comercial promedio es aproximadamente de 400.000 hectáreas por año, lo cuál ha ocasionado la destrucción de bosques de alta biodiversidad afectando los ecosistemas, ocasionando la erosión del suelo y cambios en el ciclo del agua de las zonas más afectadas como lo son la Andina, Amazónica y Pacífica.

Debido a esto y con el fin de contrarrestar la pérdida de bosque, se han establecido leyes que controlan la explotación de los recursos naturales entre ellos la tala de árboles para la producción comercial de madera, con el objeto de mejorar la gestión ambiental, promover el desarrollo sostenible y optimizar la conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento de este recurso natural renovable.<sup>9</sup>

### **1.2 APROVECHAMIENTO FORESTAL**

---

<sup>9</sup> FAO. Tendencia en los últimos años y situación actual del sector forestal colombiano. [En línea]. [Octubre 20 de 2015]. Disponible en: (<http://www.fao.org/docrep/007/j4192s/j4192s06.htm>)

A diferencia de la mayoría de las industrias la forestal tiene la ventaja de poder utilizar los residuos generados para contribuir a cubrir diferentes necesidades. La utilización de estos puede convertirse en una fuente potencial de materia, pues los desechos del proceso de aserrado constituyen insumos para otras líneas de flujo, en este caso para la línea textil, propiciando el reciclado de materia prima e incrementando el valor agregado del producto. Los residuos de la industria de transformación mecánica de la madera son considerados como una de las mayores complicaciones en el sector forestal, no solo por los costos que demanda su almacenamiento o evacuación sino porque son causantes de contaminación ambiental.

### **1.3 GENERALIDADES DE LA MADERA**

La madera es una materia que se encuentra en el tronco de los árboles en la sección que se ubica debajo de la corteza. Hay numerosas clasificaciones para la madera, pero lo que determina su diversidad es la estructura y de allí se define su utilización.

#### **1.3.1 Propiedades de la madera. A continuación se describen;**

**1.3.1.1 Propiedades químicas.** La composición química de la pared celular de las fibras de madera esta constituida principalmente por;

- **Celulosa.** Tiene una estructura lineal en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas de glucosa, haciéndolas impetrables al gua, lo que hace que sea insoluble en agua, originando fibras compactas que contituyen la pared celular de las células vegetales. La celulosa es un polisacárido estructural formado por glucosa que hace parte de los tejidos de sostén de las plantas. Sus funciones son las de servir de esqueleto a la planta y darle protección
- **Lignina.** Polímero complejo que tiene como función principal es engrosar el tallo, ademas de dar soporte a la planta aportando rigidez. Las plantas que contienen gran cantidad de lignina son denominadas leñosas. Estructuralmente se caracteriza por ser un compuesto aromático, siendo la únca fibra no polisacárido conocida. En la madera su función esencial es resistir el ataque de los microorganismos, impidiendo la pentetración de las enzimas destructivas en la pared celular

**1.3.1.2 Propiedades físicas.** Se clasifican en;<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> TECNOLOGÍA DE LA MADERA. Propiedades de la madera. [En línea] [10 de Noviembre de 2015]. Disponible en: (<https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/propiedades-fisicas>)



- **Anisotropía.** Las propiedades de la madera difieren en las tres direcciones básicas de anatomía de la misma (axial, radial, tangencial). Axial es la dirección de crecimiento del árbol, es decir, la dirección de las fibras; radial es perpendicular a la axial, es la dirección de los radios y corta el eje del árbol; tangencial es paralela a la radial, en dirección de la fibra y cortando los anillos anuales
- **Higroscopicidad.** Capacidad de la madera para absorber la humedad del medio ambiente. Dependiendo del tipo de madera y de su punto de saturación el exceso de humedad produce hinchazón. La pérdida de humedad durante el secado contrae las fibras en sus tres direcciones
- **Densidad.** Cuanto más leñoso sea el tejido de la madera y compactas sus fibras, tendrá menos espacio libre dentro de ella, por lo que pesará más que un trozo de igual tamaño de una madera con vasos y fibras grandes. Las maderas duras son las más densas
- **Hendibilidad.** Resistencia que ofrece la madera al esfuerzo de tracción transversal antes de romperse por la separación de sus fibras. La madera de fibras largas es más hendible
- **Dureza.** Resistencia al desgaste, rayado, clavado o corte con herramientas, varía según la especie del árbol. La madera del duramen es más dura que la de la albura; la madera seca es más dura que la verde
- **Flexibilidad.** Capacidad de la madera de doblarse o deformarse sin romperse y retornar a su forma inicial. Las maderas verdes y jóvenes son más flexibles que las secas o viejas
- **Estabilidad.** Al secarse, la madera pierde humedad hasta alcanzar un equilibrio con el medio ambiente; dependiendo de la humedad ambiental, densidad, orientación de las fibras y sección de los anillos, se contraerá en mayor o menor grado durante el secado, y mantendrá su forma o se deformará curvándose o rajándose. Para reducir estas alteraciones, la madera se estiba en listones finos que permitan su aereación, protegiéndola del sol, exceso de calor y humedad. Las tablas aserradas radialmente son más estables que las aserradas tangencialmente
- **Optica.** Los rayos ultravioleta degradan la lignina presente en la madera, produciendo tonalidades de color gris y oscureciendo su superficie. Este efecto de la luz solar se limita a la superficie, y puede ser contrareestado protegiendo las maderas con lacas o esmaltes

- **Olor.** El aroma de la madera se debe a compuestos químicos almacenados principalmente en el duramen, lo que hace que cada madera tenga un olor característico
- **Biológico.** Al ser biodegradable, la madera se pudre y es afectada por insectos, hongos y bacterias que producen un daño permanente; se da con mayor frecuencia a elevados niveles de humedad. La lignina es la sustancia que impide la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular, haciendo unas maderas más resistentes al ataque

#### 1.3.1.3 Propiedades mecánicas<sup>11</sup>. Se clasifican en;

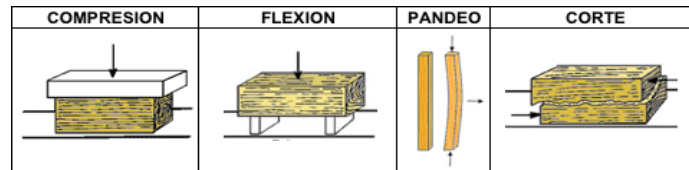
- **Resistencia a la tracción.** De todos los esfuerzos que soporta la madera su resistencia a la tracción tiene el valor más alto. La mayor resistencia es en dirección paralela a las fibras, y la menor en sentido perpendicular a las mismas. La rotura e tracción se produce de forma súbita
- **Resistencia a la compresión.** Corresponde aproximadamente al 50% de la resistencia a la tracción. Esta aumenta al disminuir el grado de humedad, a mayor peso específico de la madera mayor es su resistencia; la dirección del esfuerzo al que se somete también influye, la madera resiste más al esfuerzo ejercido en la dirección de sus fibras y disminuye a medida que se ejerce atravesando la dirección de estas
- **Elasticidad.** El módulo de elasticidad de las maderas es mayor en tracción que en compresión. Este valor varía dependiendo la especie, humedad, dirección del esfuerzo y duración de aplicación de la carga
- **Pandeo.** Se produce cuando la pieza sometida al esfuerzo de compresión supera la resistencia en el sentido de las fibras, generando una deformación en la zona de menor resistencia
- **Fatiga.** Tiempo máximo que puede aceptar una pieza sometida a tensión sin romperse.
- **Resistencia al corte.** Capacidad de resistir las fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento puede tener lugar paralelamente a las fibras; perpendicularmente no puede producirse la rotura, pues la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto

---

<sup>11</sup> MANUAL TÉCNICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MADERA. Propiedades mecánicas. [En línea]. [1 de Septiembre de 2015]. Disponible en: (<http://normadera.tknika.net/es/content/propiedades-mec%C3%A1ni-cas>)

Los principales ensayos mecánicos que se realizan a la madera para caracterizarla<sup>12</sup> se muestran en la figura 1;

Figura 1. Demostración propiedades mecánicas de la madera



**1.3.2 Clasificación de la madera.** La madera se clasifica en natural y artificial.<sup>13</sup>

**1.3.2.1 Madera natural.** Es aquella que se obtiene directamente de los troncos de los árboles; en el mercado se encuentra en forma de vigas, láminas, tableros y listones. Se clasifica en;

- **Madera dura.** Es aquella que procede de árboles de un crecimiento lento, lo cual la hace más densa y resistente, pues tarda décadas e incluso siglos en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortada y poder ser empleada en la elaboración de muebles. Es más costosa que la blanda pues su lento crecimiento provoca escasez. Entre estas se encuentran el Cedro, Roble y Nogal
- **Madera blanda.** Abarca la madera proveniente de los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas y de crecimiento rápido. Su gran ventaja frente a las maderas duras es su ligereza y bajo precio. No tiene una vida tan larga, pero si una manipulación muy sencilla, aunque se produce mayor cantidad de astillas durante su manipulación. Entre estas se encuentran el Pino, Balso y Olmo

**1.3.2.2 Madera artificial.** A diferencia de las naturales, se obtienen en fábricas a partir de restos de madera natural (cortezas, virutas, ramas, etc.) y se comercializan en planchas o láminas de diversos grosores. Se clasifican así;

- **Aglomerado.** Es fabricado con maderas trituradas o virutas de madera unidas por medio de un aglomerante. Presentan una superficie bastante lisa que acepta todo tipo de revestimiento como lacado, barnizado, pintado o plastificado

<sup>12</sup> EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas. [En línea]. [8 de Julio de 2015]. Disponible en: ([http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/2305/1/diaz\\_mendez.pdf](http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/2305/1/diaz_mendez.pdf))

<sup>13</sup> SOM ARQUITECTURA. Madera natural & madera artificial. [En línea]. [3 de Noviembre de 2015]. Disponible en: (<https://somarquitectura.wordpress.com/2014/04/14/madera-natural-madera-artificial-2/>)

- **Tablero de fibras.** Se obtienen uniendo partículas o fibras de madera con una resina sintética, sometiendo esta mezcla a prensado. Uno de los más utilizados es el MDF
- **Contrachapado.** Se fabrica mediante la unión encolada y prensada de varias láminas finas de madera, ubicándolas con sus fibras perpendiculares entre sí para obtener mayor resistencia en todas las direcciones

Algunas de las ventajas de las maderas artificiales son su bajo costo, pues para su fabricación se utilizan desechos de otras maderas o partes del árbol que no podrían ser utilizadas para obtener maderas naturales, lo cual también aporta a la conservación del medio ambiente, ya que se da un uso integral a la madera y se evita la tala de más árboles. Además de esto, se pueden obtener tableros de las dimensiones deseadas, pues con las maderas naturales el tamaño del tablero depende directamente de las dimensiones del árbol. Aunque su aspecto no es el más estético, se facilita su recubrimiento con una amplia cantidad de métodos y materiales, lo cual aminora el ataque de microorganismos.

**1.3.3 Especies maderables en Colombia.** El país es bosque en un 51% de sus territorios, donde gracias a las condiciones climáticas se reproducen con facilidad y cuentan con las condiciones naturales requeridas para perdurar en el tiempo diversas especies de plantas. Fueron muchas las especies maderables que por siglos poblaron miles de hectáreas en el país, de las cuales hoy no quedan ni una cuarta parte en pie. En la actualidad tan solo se mantienen vigentes pero en peligro de extinción cinco de ellas: caoba, cedro, abarco, palo de rosa y canelo, estas reducidas a su mínima expresión, pues por muchos años han sido la despensa de campesinos, industriales y carpinteros.

La especie maderable más utilizada por sus propiedades es el cedro, específicamente el cedro macho (*Guarea Trichilioides*), pues es muy resistente a los agentes biológicos y climáticos; debido a su alta durabilidad natural se puede utilizar en muebles para exterior y en construcciones a la intemperie. Este árbol se encuentra desde México hasta el norte de Argentina. En nuestro país se halla en los departamentos del Meta, Antioquia y Cundinamarca; en las regiones de Urabá y Amazonía y en los valles de los ríos Cauca y Magdalena. Crece en bosques húmedos y muy húmedos tropicales.<sup>14</sup>

El cedro macho es un árbol de gran tamaño, alcanza hasta 35 metros de longitud, su tronco es recto y cilíndrico y tiene un diámetro entre 60 y 80 centímetros. Su corteza exterior es de color café rojizo y es agrietado longitudinalmente, mientras que internamente su color característico es rosado. Sus hojas son alargadas, sus

---

<sup>14</sup> BOSQUES DE COLOMBIA. Arboles maderables. [En línea]. [Agosto 13 de 2015]. Disponible en: (<http://bosquesdecolombia.com/index.php/clima-templado-y-calido/arboles-maderables-templado>)

flores de color blanco, olorosas y pequeñas. El fruto contiene las semillas, tiene una forma similar a un trompo y es color rojo.<sup>15</sup>

Trabajar esta madera es relativamente fácil, ya que se pueden utilizar herramientas manuales como maquinaria industrial. Tiene una alta durabilidad natural (más de 15 años).

**1.3.4 Fuentes de residuos de madera.** Los residuos que provienen de la industria de productos forestales pueden dividirse en dos clases: los que proceden de la recolección y extracción de trozas de los montes y que se consideran de uso económico nulo, y los que generan las propias industrias forestales durante el proceso de fabricación de madera con fines comerciales. Después de la elaboración de tableros, solo un 28% del árbol se convierte en madera aserrada, siendo el porcentaje restante residuo no utilizado. En el cuadro 1 se especifica la fuente del residuo y el tipo de residuo que de ella proviene;

**Cuadro 1.** Fuentes de residuos de madera

<b>Fuente</b>	<b>Tipo de residuo</b>
Operaciones forestales	Ramas, agujas, raíces, madera de baja calidad, recortes, aserrín
Aserrío	Corteza, aserrín, recortes, madera partida, viruta, lijadura
Producción de tableros	Corteza, aserrín, recortes, lijadura

Fuente. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

El aserrín es el desperdicio del proceso de aserrado de la madera, a este material que es catalogado como deshecho se le han dado diversos usos con el paso del tiempo; dentro del campo de la carpintería es utilizado para fabricar tableros de madera aglomerada de densidad media. Fuera de este campo ha sido utilizado en negocios donde se presenta el derrame de líquidos, pues de fácil adherencia y limpieza. En los últimos años ha aumentado su uso para la fabricación de briquetas destinadas a la alimentación de estufas y de pellets destinados a la alimentación de calderas.

## **1.4 MATERIAL COMPUESTO (MC)**

Reciben el nombre de materiales compuestos aquellos formados por la unión de dos componentes de diferente naturaleza con el fin de conseguir propiedades que no es posible obtener de ninguno de los componentes actuando aisladamente. Entre sus características principales se encuentran;

---

<sup>15</sup> CUPROFOR. Propiedades y usos de la madera. [En línea]. [Octubre 25 de 2015]. Disponible en: ([http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD47%2094/pd%2047-94-1s%20rev%203%20\(1\)%20s.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD47%2094/pd%2047-94-1s%20rev%203%20(1)%20s.pdf))

- Están formados por dos o más componentes identificables por medios físicos, y separables mecánicamente
- Presentan varias fases químicamente distintas, totalmente insolubles entre si y separadas por una interfase
- Sus propiedades mecánicas son superiores a la suma de las propiedades de sus componentes, propiedad conocida como sinergia

Los MCs nacen de la necesidad de obtener materiales que combinen las propiedades de los cerámicos, los plásticos y los metales. Aunque existen gran variedad de materiales compuestos en todos se distinguen las siguientes partes;<sup>16</sup>

- Fase continua o matriz: Es continua, responsable de las propiedades físicas y químicas del material. Además de transmitir los esfuerzos al agente reforzante protege y da cohesión al material
- Fase discontinua o refuerzo: Su geometría es fundamental para definir las propiedades mecánicas del material

**1.4.1 Clasificación de los materiales compuestos (MCs).** Existen varias clasificaciones para los MCs, principalmente dependiendo del tipo de matriz, la clase y forma del refuerzo, la naturaleza de los constituyentes o las aplicaciones para las que se diseñe el material. A continuación se da una breve descripción de las clasificaciones más comunes y relevantes en relación a este trabajo de investigación, es decir, los materiales compuestos de matriz polimérica reforzado con fibra.

**1.4.1.1 Según el tipo de matriz.** Los MCs pueden fabricarse con matrices que pueden ser de origen metálico, polimérico o cerámico. Los polímeros se han desarrollado rápidamente y pronto se han convertido en materiales estructurales muy populares. A pesar que los polímeros presentan limitaciones para ciertas aplicaciones de ingeniería comparadas con los metales y cerámicos, como baja resistencia y tenacidad a la fractura, estas limitaciones pueden superarse introduciendo en el polímero un material de refuerzo. Dentro de estos se encuentran;

- **Compuestos de Matriz Polimérica (CMP).** Estos utilizan materiales de origen polimérico como fase continua o matriz. Este tipo de material es el más común por la versatilidad de los polímeros, ya que tanto termoplásticos, elastómeros y termoestables son fáciles de procesar, livianos, en general económicos y presentan propiedades mecánicas apropiadas para un extenso número de

---

<sup>16</sup> INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES COMPUESTOS. Generalidades. [En línea]. [Octubre 7 de 2015]. Disponible en: (<http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/composites.pdf>)

aplicaciones. Se usan diferentes clases de refuerzos, ya sean en forma de fibras o partículas.

Los polímeros termoplásticos se caracterizan porque una vez polimerizados pueden ablandarse o derretirse con calor para cambiar su forma, este proceso es reversible y puede repetirse; no afecta sus propiedades, por ende los hace reutilizables. Entre los polímeros termoplásticos más utilizados en la industria de los materiales compuestos se encuentran el polietileno, poliestireno, nylon y policarbonato.

Los elastómeros, son polímeros que se deforman de manera notable por efectos de esfuerzos de cierta consideración y se caracterizan por recuperar su forma inicial tan pronto se deja de aplicar dicho esfuerzo.

Los termoestables o termofijos, se caracterizan por tener una estructura molecular tridimensional con fuertes enlaces covalentes después de ser curados. Si se calientan, la resina curada se descompone en lugar de ablandarse como en el caso de los termoplásticos. La estructura de red que se forma le confiere propiedades mecánicas, térmicas y químicas con una resistencia especial, lo cuál hace de estos una de las mejores opciones para ser utilizado como matriz de MCs.<sup>17</sup> Este tipo de polímeros generalmente son más duros, resistentes y frágiles que los termoplásticos, pues tienen mejor estabilidad dimensional. Los más utilizados en la industria son el viniléster, las resinas epóxicas y las poliamidas.

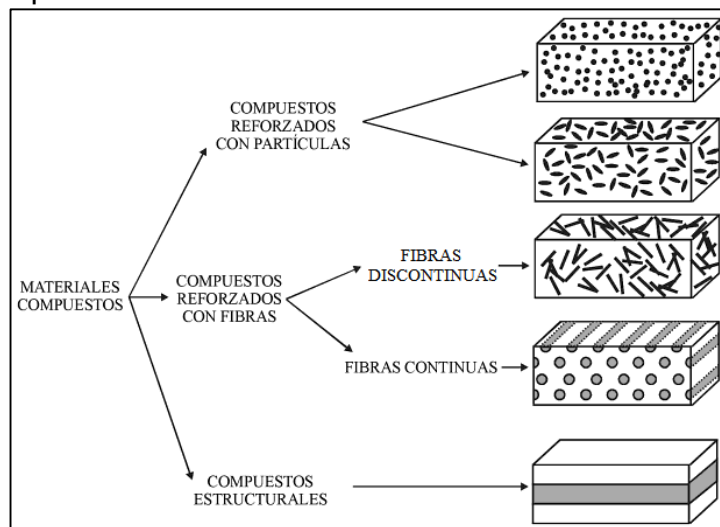
- **Compuestos de matriz metálica.** Los materiales metálicos más utilizados como matriz en la fabricación de MCs son el aluminio, magnesio y titanio, los cuales son normalmente aleados con otros elementos para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. A diferencia de los polímeros, el aumento de la rigidez logrado por la incorporación del refuerzo es relativamente pequeño
- **Compuestos de matriz cerámica.** Los cerámicos se caracterizan por su alta resistencia a temperaturas elevadas, baja densidad y buenas propiedades mecánicas. La mayor de sus desventajas es la fragilidad, lo cuál hace que el objetivo de combinarlos con otros materiales sea incrementar su tenacidad y resistencia a la fractura. Por su facilidad de procesamiento los cerámicos comúnmente más reforzados son el carburo de silicio, nitruro de silicio y la alúmina. Las fibras agregadas son cortas, con el fin de no afectar severamente la capacidad de moldeo

---

<sup>17</sup> INGENIERÍA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS. Propiedades estructurales. [En línea]. [Septiembre 14 de 2015]. Disponible en: (<http://www.cantab.net/users/bryanharris/Engineering%20Composites.pdf>)

**1.4.1.2 Según el tipo de refuerzo.** En los compuestos de matriz dúctil, más comúnmente en los CMP, el material de refuerzo es la principal fuente de resistencia del compuesto, la matriz se adhiere a este y le transfiere sus propiedades. El material de refuerzo de rigidez mayor que la matriz, soporta gran parte de la carga, pero al haber espacios entre si, transmiten y reparten las fuerzas a través de la matriz. En la figura 2 se muestra un esquema de clasificación de los materiales compuestos según la geometría del refuerzo; consta de tres grupos: compuestos reforzados con partículas, reforzados con fibras y estructurales.<sup>18</sup>

**Figura 2 .** Estructura de los MCs en función del tipo de refuerzo



Fuente. Materiales compuestos. Tipo de refuerzo

- **Compuestos reforzados con partículas.** Están compuestos por partículas de un material duro y frágil, dispersas uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil. Se subdividen en reforzados con partículas grandes y consolidados por dispersión. El término grande se utiliza para indicar que las interacciones partícula – matriz no se pueden describir a nivel atómico o molecular, solo a nivel macroscópico. El hormigón es el MC reforzado con partículas grandes más común. Los MCs consolidados por dispersión son reforzados con partículas muy pequeñas con diámetros entre 10 y 100 nm. Las interacciones matriz metálica – dispersoide (consolidados por dispersión) ocurren a nivel atómico molecular; la matriz metálica soporta la mayor parte de la carga aplicada y las pequeñas partículas dispersas dificultan el desplazamiento de dislocaciones; de esta manera se impide la deformación

<sup>18</sup> TECNOLOGÍA DE PROCESO Y TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES. Clasificación. [En línea]. [Diciembre 2 de 2015]. Disponible en: ([https://books.google.com.co/books/about/Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_proceso\\_y\\_transformaci%C3%B3n.html?id=RzDy96-vUckC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Tecnolog%C3%ADa_de_proceso_y_transformaci%C3%B3n.html?id=RzDy96-vUckC&redir_esc=y))



plástica aumentando el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza. Un ejemplo de estos son los cermet, compuesto metal-cerámico utilizado por ejemplo en herramientas de corte

- **Compuestos reforzados con fibras.** Las fibras son hilos de 2 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, con forma de hilo, cordón o cinta y son ampliamente usadas como reforzante en los materiales de ingeniería. Los materiales compuestos reforzados con fibras son los más usados, puesto que al adicionar las fibras a la matriz (polímeros, metales o cerámicos) se mejora considerablemente la resistencia, tenacidad y según el origen de los constituyentes presentan baja densidad. En términos de fuerza, las fibras sirven para resistir la tracción y la matriz para resistir las deformaciones<sup>19</sup>

**1.4.2 Materiales compuestos reforzados con partículas naturales versus partículas convencionales.** En los últimos 20 años se ha incrementado el uso de los CMP reforzados con partículas naturales, ya que estas partículas tienen la ventaja de ser renovables, económicas y de baja densidad, además de presentar propiedades mecánicas que satisfacen los múltiples requerimientos de la industria. El uso de estas partículas permite reducir el peso del material manteniendo su dureza y rigidez características; su manipulación y tratamiento es generalmente menos peligroso que el de las partículas convencionales; las partículas vegetales no son abrasivas, lo cual reduce el riesgo de aparición de costos inesperados en su procesamiento. Se ha demostrado que la energía requerida para la obtención de fibras vegetales o naturales en promedio equivale a menos de la mitad de la cantidad necesaria para la producción de las fibras convencionales (Ver gráfica 1).

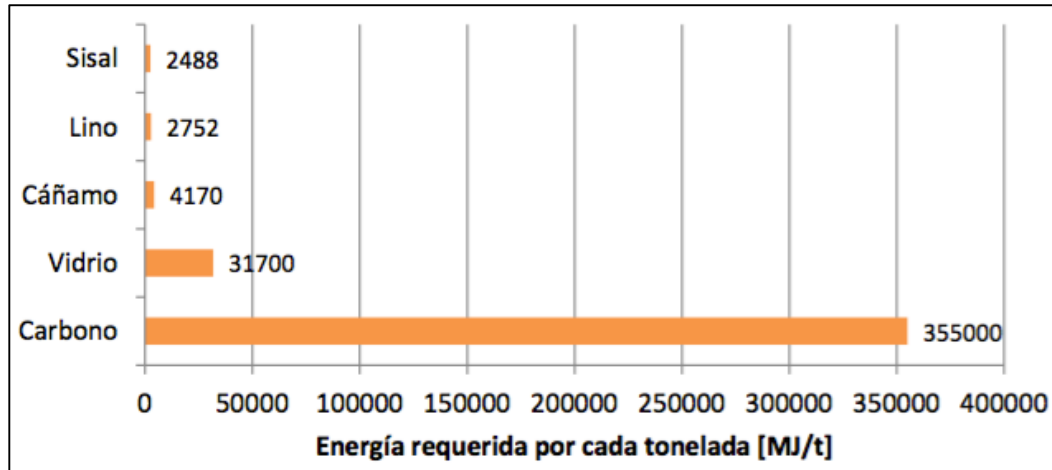
Otra de las ventajas de las partículas de origen natural, es que estas al ser quemadas o sometidas a compostaje, emiten una menor cantidad de  $\text{CO}_2$  que las partículas convencionales, esta característica sumada a que al usarse partículas vegetales como refuerzo de otros materiales como polímeros, se crea un material más amigable con el ambiente. Por otra parte, se debe tener en cuenta que mientras las fibras convencionales se elaboran en un rango predeterminado de propiedades, en las fibras vegetales las propiedades tienden a variar considerablemente. En efecto, tanto la calidad de las fibras naturales, como la mayoría de sus propiedades depende de factores como: lugar de origen, edad de la planta de la cual proceden, condiciones de cuidado y cultivo, proceso de extracción y composición química.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Materiales compuestos. [En línea]. [Julio 8 de 2015]. Disponible en: (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/07/materiales-compuestos.html>)

<sup>20</sup> DESARROLLO Y COMPOSICIÓN DE BIOCOSMÉTICOS ENFIBRADOS PROCEDENTES DE RECURSOS NATURALES. Ventajas de enfibrar con partículas vegetales. . [En línea]. [Agosto 23 de 2015]. Disponible en: (<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8958/tesisUPV3391.pdf>)

**Gráfica 1.** Energía requerida para la producción de algunas fibras



Fuente. Compuestos basados en fibras naturales. Energía de obtención

## 1.5 INDUSTRIA DEL CALZADO EN COLOMBIA

Es un sector económico caracterizado por ser el conjunto de actividades de diseño, fabricación, distribución, comercialización y venta de todo tipo de calzado. Esta industria puede ser analizada desde la posición y tareas que las distintas empresas ocupan en la cadena productiva, como: suministro de materias primas, diseño, corte de materiales, confección y fabricación, distribución y ventas. El sector de calzado constituye una industria muy diversificada que abarca una gran variedad de materiales (tela, plástico, caucho, cuero, entre otros) y productos.

La diversidad de los productos finales es un reflejo de la multitud de procesos industriales, empresas y estructuras de mercado existentes. El zapato de tacón es una de las variedades del calzado femenino y existe en múltiples estilos, tamaños, diseños, materiales y costos.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> ACICAM. Industria del calzado y su manufactura. [En línea]. [Septiembre 3 de 2015]. Disponible en: (<http://acicam.org/como-va-el-sector>)

## 2. FABRICACIÓN DE UN TACÓN DE MADERA

A continuación se presentan las características de un tacón de zapato femenino y sus tipos; se describe el proceso de fabricación actual empleado en la fábrica de zapatos Lisantiny y se detalla el manejo que se da al aserrín como deshecho en el depósito de maderas MADERAS LA 170, del cuál se obtendrá la materia prima para la fabricación del nuevo material.

### 2.1 GENERALIDADES DEL TACÓN

El tacón es un elemento rígido que forma parte del calzado que se encuentra unido a la parte posterior de la suela utilizando diversas técnicas de fabricación. Su función principal es actuar como soporte al talón, aunque para muchas personas su función principal radica en la estética; un ejemplo de esto es brindar al usuario mayor altura, reducir las dimensiones del pie, alargar las piernas, entre otros.

El tacón varía en su forma y tamaño de acuerdo a los diversos tipos de calzado en el que es empleado, por lo que puede medir desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros de altura, y así mismo variar el área de contacto con la superficie terrestre. Su clasificación va de acuerdo al uso final del calzado. Las propiedades del tacón hacen referencia a su diseño, a los materiales con los que está fabricado, a la técnica de fabricación y a sus dimensiones. En la figura 3 se presentan los tipos de tacón existentes en el mercado, siendo el robusto el más fabricado en Lisantiny para cumplir con la producción de zapatos demandada.

**Figura 3.** Tipos de tacón

TIPOS DE TACON			
AGUJA		ROBUSTO	
GEOMÉTRICO		CONO	
CORRIDO		PLATAFORMA	
CARRETEL		PUNTO	

Fuente. Fábrica de zapatos Lisantiny

Lisantiny es una fábrica de zapatos ubicada en la ciudad de Bogotá, Calle 17 sur N° 24b-25, dedicada al diseño y la fabricación de calzado femenino desde 1982. Cuentan con la maquinaria necesaria para producir tacones en madera y en ocasiones compran los tacones requeridos en su línea productiva como producto terminado, los cuales están fabricados en ABS.

## 2.2 PROCESO ACTUAL DE FABRICACIÓN DE TACONES EN LA FÁBRICA DE ZAPATOS LISANTINY

La fabricación de calzado no ha variado significativamente con el tiempo, pues el proceso sigue siendo mayormente artesanal, con la participación mínima de maquinaria, ya que en esta línea de producción la calidad la aseguran los detalles, los cuales se logran a la perfección de manera rudimentaria.

**2.2.1 Materia prima.** La madera utilizada para la fabricación de tacones es el pino, pues es fácil de tallar y en su mayoría libre de nudos, lo que evita el astillamiento. Además de ser un producto abundante y fácilmente transformable, ofrece propiedades mecánicas excelentes, convirtiéndose en un material duradero.

**2.2.2 Equipos.** Aunque la mayoría del trabajo en el proceso de fabricación de un tacón es netamente manual, se requiere de ciertas máquinas para lograr mejores acabados y mejorar la productividad, entre ellos se encuentran;

- **Sierra de cinta.** También conocido como serrucho de banda, es una sierra eléctrica que tiene una tira metálica dentada, larga, estrecha y flexible. La tira se desplaza sobre dos ruedas que se encuentran en el mismo plano vertical con un espacio entre ellas (Ver figura 4). Es muy útil en el corte de piezas regulares e irregulares y esta hecha especialmente para dar forma curva a la madera

**Figura 4.** Sierra de cinta



Fuente. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, Máquina sierra

- **Trompo de carpintería.** Consta de una mesa con un eje vertical giratorio llamado flecha, impulsado por un motor. En la flecha se ubican las herramientas de corte conocidas como fresas; con una guía se desplaza la pieza de madera gradualmente y de forma manual, permitiendo realizar la operación de moldurado. (Ver figura 5)

**Figura 5.** Trompo de carpintería



Fuente. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, Máquina trompo

- **Lijadora de disco.** Permite llevar a cabo el proceso de lijado de una superficie. En la fábrica prevalece el lijado manual, ya que por medio del tacto se hace más fácil la localización de imperfecciones. Se muestra en la figura 6

**Figura 6.** Lijadora de disco



Fuente. Instituto nacional de Seguridad e higiene en el trabajo, Máquina lijadora

- **Perforadora.** Máquina que gradualmente talla el interior del tacón creando un orificio del tamaño adecuado para insertar el refuerzo metálico cuando así lo requiere el proceso de fabricación. La estructura se muestra en la figura 7

**Figura 7.** Perforadora



Fuente. Instituto nacional de Seguridad e higiene en el trabajo, Máquina perforadora

- **Horno de secado.** Es de calor seco, alcanza hasta los 350°C y al ser calentado por aire a alta temperatura, extrae humedad. En la figura 8 se muestra el equipo presente en las instalaciones de Lisantiny

**Figura 8.** Horno

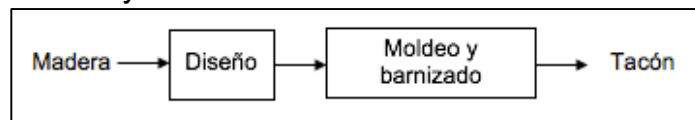


Fuente. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, Horno de secado

## 2.3 DIAGRAMAS DE PROCESO

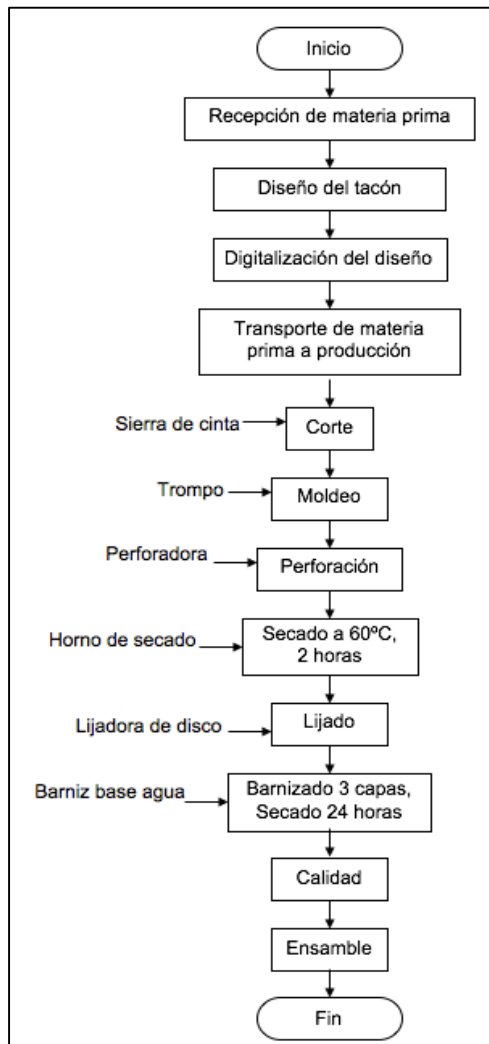
**2.3.1 Diagrama general del proceso.** El proceso de producción de un tacón de madera como se realiza en Lisantiny consta de las siguientes operaciones;

**Diagrama 1.** Producción general de un tacón en Lisantiny



**2.3.2 Diagrama de flujo de bloques (BFD).** Se especifican el orden de los procesos a realizar para la obtención del tacón de madera.

**Diagrama 2.** Producción de tacón de madera



## **2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCION DEL TACÓN DE MADERA**

**2.4.1 Recepción de materia prima.** La madera es recibida en la fábrica, llega en forma de listones rectangulares. Es almacenada en una bodega libre de humedad y a temperatura ambiente con los debidos cuidados.

**2.4.2 Diseño del tacón.** En esta etapa, para llevar a cabo el diseño del tacón perfecto se deben verificar varios puntos;

- Con ayuda de los perfiles de zapatería normalizados se verifica que el tacón propuesto tenga la altura correspondiente al número de horma a utilizar, para garantizar la resistencia del mismo
- Se debe verificar que el largo de la plantilla y el puente de esta estén a la medida justa para que de esta manera el tacón sea pegado y clavado de forma exacta
- Es importante definir si el tacón requiere refuerzo metálico o no, para determinar el proceso de producción a realizar

**2.4.3 Digitalización del diseño.** Etapa en la que se dimensiona de manera exacta la forma y tamaño del tacón, esta se realiza con el fin de verificar cantidad de materia prima requerida para la producción y características detalladas del producto.

**2.4.4 Transporte de materia prima.** Los listones de madera son transportados por el personal de bodega hacia el área de producción según su requerimiento.

**2.4.5 Corte.** Se corta la madera en bloques para tener un tamaño de pieza manejable y para eliminar los trozos defectuosos.

**2.4.6 Moldeo.** La pieza de madera es ubicada en la máquina trompo, donde en un tiempo de 5 a 8 minutos se le da la forma requerida.

**2.4.7 Perforación.** Cuando se requiere, la pieza moldeada es perforada en esta etapa para crear una cavidad en la cual se inserta un refuerzo metálico en forma de tubo que tiene un largo que es un poco más de la mitad del largo total del tacón.

**2.4.8 Secado.** Periodo de tiempo durante el cuál la pieza se introduce a un horno en el cuál permanece de 2 horas a temperatura de 55°C a 60°C, esto con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la madera, ya que a aumenta sus valores de dureza, se hace más resistente al ataque de hongos y permite obtener mejores acabados en el barnizado.



**2.4.9 Lijado.** Etapa en la que se pule la forma dada a la pieza de madera, refinando la forma del tacón y eliminando imperfecciones.

**2.4.10 Barnizado.** Se aplican tres capas de barniz al tacón para preservar el material; debe ser en base agua ya que es el tipo de barniz que no altera la madera al contacto. Entre cada capa de barniz se da un espacio de secado de una hora, el tiempo de secado luego de aplicada la última capa es de 24 horas.

**2.4.11 Calidad.** En esta etapa se verifica que el tacón no presente grietas, rajaduras o cualquier tipo de imperfección perceptible a la vista. La prueba de calidad que se realiza al tacón terminado se denomina prueba de clavado y esta se realiza solo al momento de ensamblar el tacón.

**2.4.12 Ensamble.** Debido a que en este punto se comprueba si el tacón es apto o no para su uso, se deben llevar a cabo los siguientes pasos para verificar que el tacón no se raje pues es el único indicativo de que el producto es defectuoso;

- El tacón debe estar firmemente pegado a la plantilla antes de ser clavado
- El tacón debe ser sujetado a la plantilla mínimo en tres partes con un tornillo en el centro y con dos tornillos a los lados a una distancia mínima de 17 milímetros entre si. Cuando el tacón es diseñado para ser utilizado con refuerzo metálico, el tacón se sujeta a la plantilla con un tornillo en el centro y con cuatro clavos estriados a los lados a una distancia mínima de 17 milímetros entre si. Tanto el tornillo como los clavos estriados deben penetrar como mínimo 12 milímetros el material del tacón

## **2.5 PROPIEDADES CARACTERISTICAS DEL TACON DE MADERA FABRICADO EN LISANTINY**

**Tabla 1.** Propiedades del tacón de madera

<b>Peso</b>	<b>Módulo de tracción</b>	<b>Dureza Janka</b>
120 gr	6,7 GPa	992,5 Kg

## **2.6 SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE ASERRIN EN MADERAS LA 170**

MADERAS LA 170 es una empresa ubicada en la ciudad de Bogotá, Calle 171 N° 21<sup>a</sup>-95, que desde 1973 se ocupa del procesamiento de la madera, desde su corte, transporte, almacenamiento y moldeo, hasta su transformación en objetos de uso práctico. De las anteriores operaciones se generan diferentes residuos, como viruta y aserrín. El material residual en forma de aserrín se va acumulando en el suelo, debajo de la máquina sin fin, con la cual se moldean los listones de

todo tipo de maderas. Este residuo permanece durante varios días allí, hasta que pasa el camión recolector de basuras y lo dispone como un desperdicio más.

Conociendo el proceso de fabricación actual del tacón y las propiedades características del mismo descritas anteriormente, es posible iniciar el desarrollo experimental, parte de esta investigación en que se determina la mezcla óptima de matriz-refuerzo del material compuesto que cumpla con los estándares del tacón actualmente utilizado en Lisantiny.

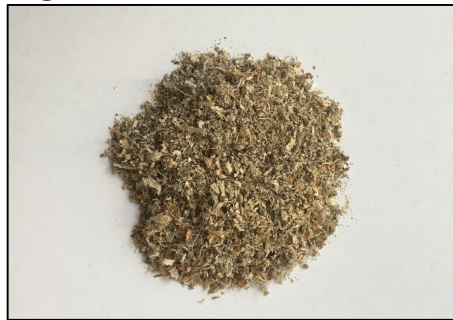
### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA CONFORMACIÓN DE PROBETAS Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS MECÁNICOS

Este capítulo describe los detalles acerca de los materiales y métodos utilizados en el presente proyecto de investigación. Se incluyen criterios de selección, cantidades y preparación de materiales para el proceso de fabricación de materiales reforzados con fibras de madera. Cada ensayo se realiza bajo los procedimientos establecidos por las normas internacionales. Finalmente se analizan los datos obtenidos en cada ensayo.

#### 3.1 MATERIALES

- **Aserrín.** Se obtiene de los procesos de corte y moldeo de la madera en el depósito MADERAS LA 170, proviene del cedro macho. En la figura 9 se muestra el estado del material tal como llega del depósito

**Figura 9.** Aserrín



- **MDF.** Material elaborado con fibras de madera aglomeradas, las cuales se han aglutinado a presión en seco hasta alcanzar una densidad media, de fácil corte y moldeo
- **Caucho silicona.** Material que permite copiar con exactitud el elemento que se necesita reproducir, es económico, de fácil acceso, larga vida útil, compatible con numerosos materiales y por su elasticidad permite obtener piezas sin costuras, facilitando su desmolde
- **Resina epóxica.** Material empleado como matriz para elaborar el material compuesto en estudio. Se adquirió en la empresa QUÍMICOS CAMPOTA, bajo el nombre de resina epoxi, la cual sólo requiere de la adición de su catalizador para realizar el curado. Tiene una presentación líquida de 4 Kg cada parte, el recipiente de tapa azul corresponde a la parte A, es decir la resina y el recipiente de tapa roja corresponde a la parte B, es decir, al catalizador (Ver figura 10). En el cuadro 3 se encuentran las especificaciones de la resina curada sin ningún tipo de refuerzo, con un tiempo de curado de 8 horas a

temperatura ambiente (18°C); todos los datos son suministrados por el proveedor.

**Figura 10.** Resina epóxica



**Cuadro 2.** Especificaciones de la resina epóxica

Tiempo de curado	8 horas
Color	Transparente
Relación de mezcla	1A:1B
Dureza shore D	61
Contracción	Inapreciable
Módulo de flexión	3,5 GPa
Módulo de tracción	4 GPa

Esta resina se selecciona como matriz para contener las partículas de aserrín de cedro debido a sus múltiples aplicaciones a nivel industrial y ornamental. Investigaciones realizadas demuestran que el comportamiento de este material en comparación con otros materiales reforzados con fibras de origen natural es mejor; desde un punto de vista técnico en la industria automotriz, la resina reforzada con materia vegetal utilizada para la fabricación de autopartes mejora la resistencia mecánica y el rendimiento acústico, reduce el peso del material y el consumo de combustible, disminuye los costos de producción, incrementa la seguridad de los pasajeros y aumenta la resistencia a cambios extremos de temperatura. Con esta información se ratifica que si la resina proporciona las propiedades ideales para su uso en la industria automotriz, también aportará excelentes propiedades en la industria del calzado, en la cual los requerimientos mecánicos son menores.

### 3.2 EQUIPOS

Se debe tener en cuenta que el material a desarrollar en esta investigación es a nivel laboratorio, por lo cual no se requieren equipos de gran potencia, sin embargo, se utilizan instrumentos que aunque no se relacionan directamente con

el proceso a nivel industrial son importantes para garantizar una óptima conformación del material.

- **Cribas.** Están compuestas por un cuerpo sólido, provisto de dos vástagos que sostienen las mallas. El mecanismo de funcionamiento es por vibración. Las mallas para el tamizado de este aserrín son: 5.0 mm, 3.35 mm, 2.8 mm, 2.0 mm, 1.4 mm, 1.0 mm, 0,425 mm, 0.25 mm y 0 (fondo)
- **Balanza analítica.** Está diseñada para medir pequeñas masas, de hasta 600 gr únicamente, el plato es de 11, 5 cm de diámetro fabricado en acero inoxidable, permite medición en diferentes unidades y tiene una precisión de 0,01 gramos. Cuenta con cámara corta aires para mejorar las mediciones
- **Horno de secado.** Se utiliza para deshidratar el aserrín. Es de calor seco, alcanza hasta los 350°C y al ser calentado por aire a alta temperatura elimina humedad, cuenta con un control digital para regular la temperatura y el tiempo, dispone de un interruptor en la puerta que se encarga de cortar el suministro de electricidad para evitar consumo de energía innecesario (Ver imagen 8)
- **Picnómetro.** Instrumento de medición de volumen conocido que permite determinar la densidad de cualquier elemento líquido o sólido mediante gravimetría a temperatura constante. Se utiliza para determinar la densidad del aserrín
- **Matraz aforado.** Recipiente de vidrio empleado para medir volúmenes exactos. Su cuello alto y estrecho aumenta la exactitud de sus mediciones
- **Beaker.** Vaso de precipitado de vidrio, utilizado generalmente para calentar, preparar, mezclar o traspasar líquidos
- **Durómetro shore D.** Aparato que mide la dureza al aplicar una fuerza normalizada a un material por medio de un indentador o elemento penetrador; dependiendo de la profundidad o tamaño de la huella que se obtiene de la aplicación de dicha fuerza se conoce el grado de dureza del material
- **Máquina universal de ensayo.** Es de la marca Instron 3382, este equipo cuenta con una capacidad de celda de carga instalada de 100 kN y una potencia máxima de 1500 VA. Dispone de un control computarizado, el cual controla y configura los ensayos mecánicos y recolecta los datos proporcionados de manera automática. Se utiliza para realizar los ensayos de tracción

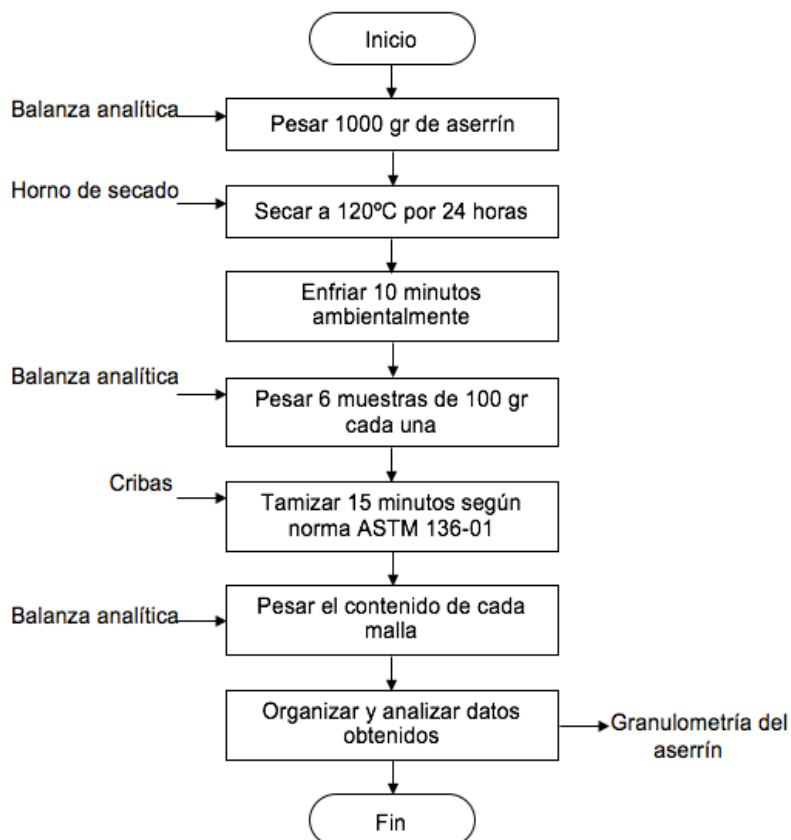
### 3.3 CARACTERIZACIÓN DEL ASERRÍN

La microestructura de las fibras de aserrín se compone de regiones cristalinas y amorfas. Numerosos enlaces fuertes de hidrógeno intramoleculares son formados en las regiones cristalinas, esto crea un bloque de celulosa y ocasiona dificultades en la penetración de sustancias químicas, sin embargo, en las regiones amorfas (que comprenden en su mayoría el aserrín) se absorben más fácilmente algunas sustancias como colorantes y resinas.

**3.3.1 Análisis granulométrico de las partículas.** Se realiza para determinar la distribución de los tamaños de una muestra seca de aserrín por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura. Se lleva a cabo cumpliendo con el procedimiento establecido por la norma ASTM C136-01, el cuál se muestra en el diagrama 3 y se describe a continuación;

- Se toma una muestra de 1000 gr de una sección de la montaña donde se acumula el aserrín como subproducto de los procesos de moldeo de la madera.
- Se lleva la muestra al horno de secado a 120°C durante 24 horas para llevarla a su estado anhidro y permitir el tamizado
- Luego de enfriar hasta temperatura ambiente, se cuartea la muestra en 6 submuestras de 100gr las cuales se distribuyen así: 3 en la parte superior y 3 en la parte inferior de la carga. Se emplean los juegos de mallas especificados en la descripción de cribas
- Se inicia el tamizado por un periodo de 15 minutos
- Se pesa cada una de las mallas con el material que contienen incluyendo el fondo. Se calculan las proporciones en peso del material tamizado

**Diagrama 3.** Procedimiento de análisis granulométrico



Las partículas de aserrín se clasifican por tamaños, entre los 0,25 y los 4,75 milímetros. En el cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos;

**Tabla 2.** Resultados de análisis granulométrico

Rango de tamaño	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Promedio
Menor a 0,25	2,4	4,3	3,2	2,6	2,8	2,3	2,93
De 0,25 a 0,425	5,4	5,7	4,92	5,8	5	5,6	5,40
De 0,425 a 1,00	23,2	22,8	23,6	23,8	23,5	22,6	23,25
De 1,00 a 1,40	16,6	17,1	16,2	16,7	17,3	16,2	16,68

**Continuación Tabla 2.**

<b>De 1,40 a 2,00</b>	17,9	16	17,3	17,4	17,7	17,6	17,32
<b>De 2,00 a 2,80</b>	13,2	12,5	13,6	13,1	13,8	14,5	13,45
<b>De 2,80 a 3,35</b>	4,8	4,2	5,7	4,5	5,1	5,3	4,93
<b>De 3,35 a 4,75</b>	7,7	8,1	7,2	7,9	6	8,3	7,53
<b>Mayor a 4,75</b>	8,7	8,4	8,2	8,3	8,8	7,6	8,33
<b>Total de sólidos</b>	99,9	99,1	99,92	100,1	100	100	99,84

Con esta información se puede estimar que cerca del 74% del material cribado varía su tamaño entre 0,425 y 2,80 mm, el 26% del material restante corresponde a material grueso y a polvo. Para la conformación del nuevo material se utilizaron todos los tamaños de partícula, pues no influyen de manera negativa en las propiedades del mismo.

**3.3.2 Determinación del contenido de humedad de las partículas base seca.**

Se lleva a cabo para determinar la cantidad de agua incluida en la madera expresada en porcentaje de su masa anhidra, la cual es la condición de la madera donde se ha eliminado la humedad hasta que se obtiene masa constante. Se realiza siguiendo el procedimiento establecido por la norma NTC 206-1 el cuál se muestra en el diagrama 4 y se describe a continuación;

- Se pesa una muestra de material, 10 gr
- Se lleva la muestra al horno de secado aproximadamente 12 horas a temperatura de 103°C
- Se enfría la muestra hasta temperatura ambiente bajo condiciones normales
- Se pesa la muestra de material de manera rápida para evitar variaciones mayores a 0,1% en el contenido de humedad
- Se realizan los cálculos correspondientes siguiendo la ecuación 1;

$$H = [(m1 - m2)/m2] * 100\% \quad (\text{Ecuación 1})$$



Donde;

H = humedad

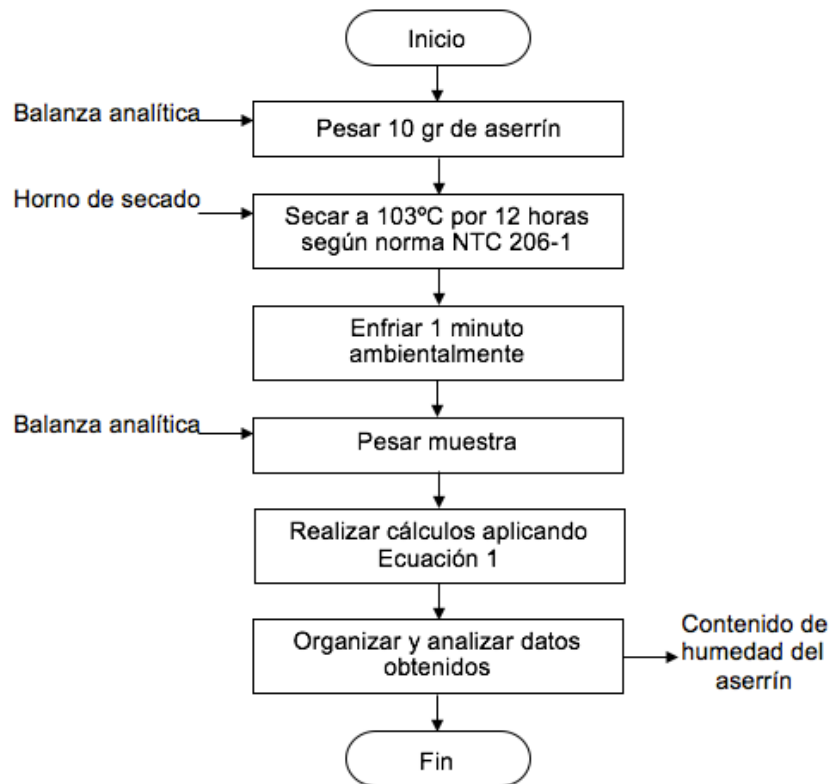
M1 = masa antes del secado, en gramos

M2 = masa después del secado, en gramos

Reemplazando;

$$H = [(10\text{gr} - 8,93\text{gr})/8,93\text{gr}] * 100\% = 11.98\%$$

**Diagrama 4.** Procedimiento determinación contenido de humedad



En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al realizar los cálculos correspondientes con los datos obtenidos en el laboratorio;

**Tabla 3.** Resultados determinación contenido de humedad

% De humedad					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
11,98	12,61	12,35	11,61	11,73	12,056

El contenido de humedad que posee el aserrín proveniente del depósito es el 12%, valor considerado bajo, ya que en investigaciones realizadas se ha establecido que las fibras o partículas de origen vegetal utilizadas como refuerzo en MCs no deben superar el 65% en su contenido de humedad; de superar este valor se ven afectadas las propiedades mecánicas de nuevo material, puesto que las partículas no absorben en su totalidad la cantidad de matriz necesaria para conformar un material reforzado que cumpla con los requerimientos mecánicos para ser utilizado a nivel industrial.<sup>22</sup>

**3.3.3 Determinación de la densidad.** Se determinó la densidad de acuerdo al procedimiento establecido por el estándar ASTM D854 el cuál se muestra en el diagrama 5 y se describe a continuación;

- Se toma una muestra de material y se pesa en la balanza analítica, se obtiene la masa 1, 10 gr
- El picnómetro se llena a ras con agua destilada, se pone sobre la balanza junto al material y se toma el dato del peso, se obtiene la masa 2
- Se introduce el aserrín al picnómetro, se seca para eliminar rastros del agua sobrante y se ubica sobre la balanza para registrar el peso, se obtiene la masa 3
- Se realizan los cálculos correspondientes para hallar el volumen siguiendo la ecuación 2;

$$V = V = m_2 - m_3 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde;

V = Volumen

M2 = Masa 2, peso en gramos del aserrín y el picnómetro lleno de agua

M3 = Masa 3, peso en gramos del picnómetro con el aserrín dentro

Reemplazando;

$$V = 124,7 - 105,84 = 18,86 \text{ cm}^3$$

---

<sup>22</sup> SCIENCE DIRECT. Study of mechanical properties of Wood dust reinforced epoxy composite. [En línea]. [4 de Agosto de 2015]. Disponible en: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812814004350>)

- Se realizan los cálculos correspondientes para determinar la densidad siguiendo la ecuación 3;

$$\rho = m/v \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde;

$\rho$  = Densidad en  $\text{gr/cm}^3$

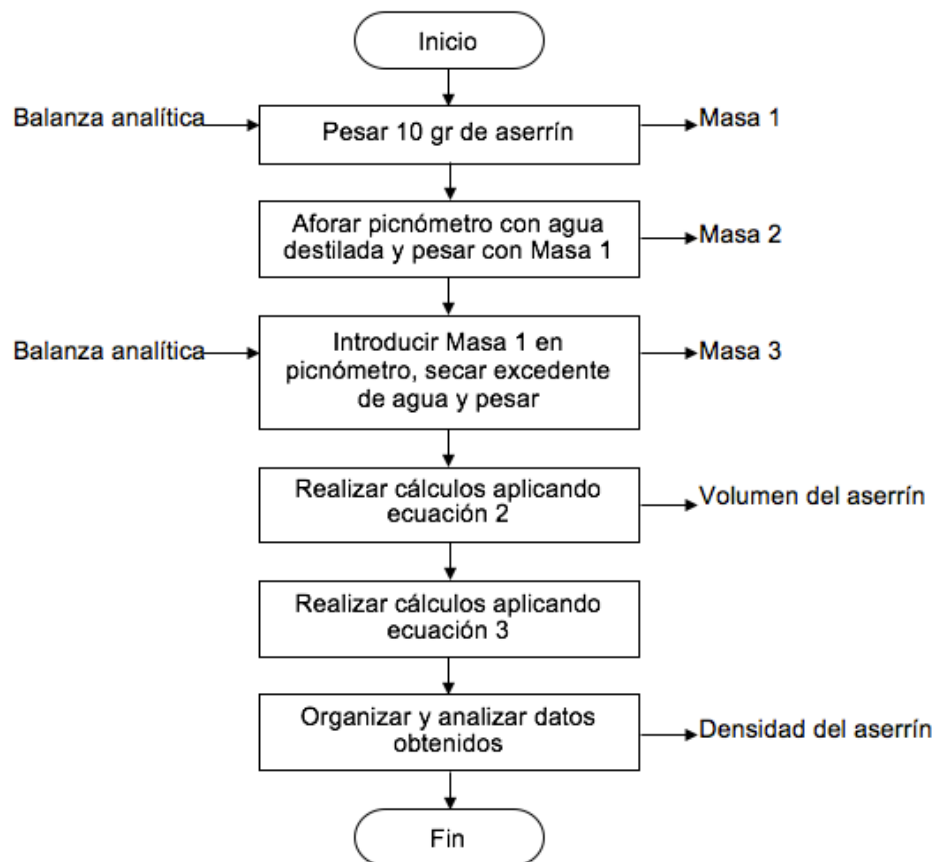
m = Masa

v = volumen

Reemplazando;

$$\rho = 10/18,86 = 0,53 \text{ gr/cm}^3$$

**Diagrama 5.** Procedimiento de determinación de densidad



Las mediciones determinaron una densidad promedio del aserrín proveniente del depósito  $530 \text{ kg/m}^3$ . En los materiales compuestos, la densidad de la madera es

considerada el mejor indicador de la resistencia del mismo, en general, a mayor densidad de las fibras vegetales, mayor resistencia mecánica del material. Densidades superiores a  $350 \text{ kg/m}^3$ , indican que las fibras son aptas para conformar materiales compuestos aptos para aplicaciones industriales a nivel aeronáutico y automotriz.

**3.3.4 Determinación del pH.** Se realiza el procedimiento acorde a lo establecido por la norma NTC 2500 el cuál se muestra en el diagrama 6 y se describe a continuación;

- Se toman 10 gramos de material de la porción fina obtenida en el análisis granulométrico de partículas, se depositan en matraz aforado
- Se toma la medida de pH del agua destilada
- Se adicionan 100 mililitros de agua destilada al matraz con el material y se mezclan
- Se trasvasa el contenido del matraz a un beaker y se agita la mezcla durante 4 horas a 250 rpm
- Al finalizar el tiempo se mide el pH haciendo uso del pH-metro
- Se realizan los cálculos correspondientes para determinar el pH siguiendo la fórmula;

$$\text{pH} = \text{pH } 1 - \text{pH } 2 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde;

pH = pH del aserrín

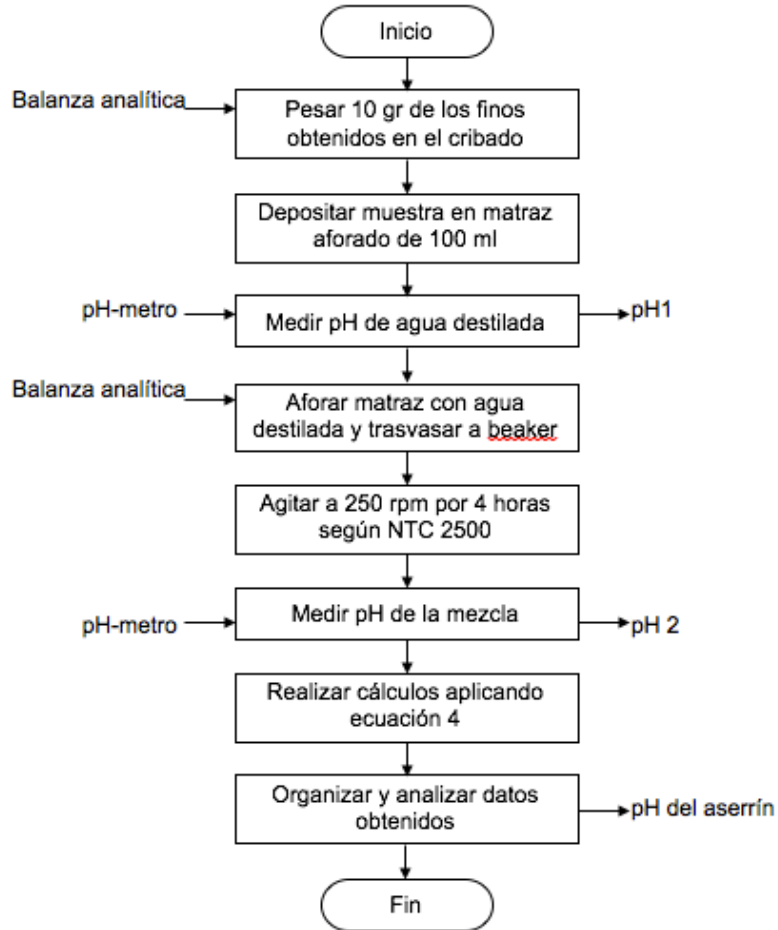
pH 1 = pH del agua destilada

pH 2 = pH de la mezcla

Reemplazando;

$$\text{pH} = 7 - 2,26 = 4,74$$

**Diagrama 6.** Procedimiento de determinación de Ph



En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al realizar los cálculos correspondientes con los datos obtenidos en el laboratorio;

**Tabla 4.** Resultados de determinación de pH

pH			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
4,84	4,64	4,74	4,74

El valor promedio de pH de este aserrín es 4,74 y al no haber un valor de pH ideal establecido para el material de origen vegetal que servirá como agente de refuerzo, se considera que no influye de manera relevante en la conformación de los materiales compuestos.<sup>23</sup>

<sup>23</sup> REVISTA FORESTAL VENEZOLANA. Anatomía y densidad de la madera. [En línea]. [18 de Septiembre de 2015]. Disponible en: (<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31646/1/ensayo1.pdf>)

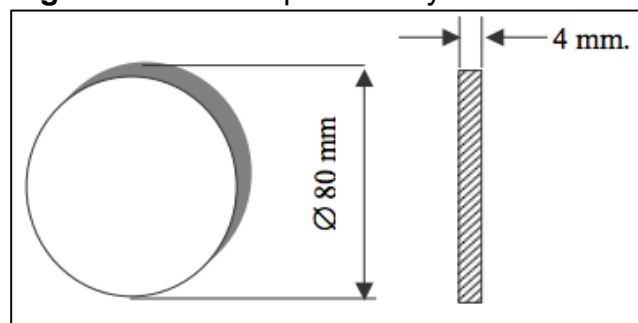
### 3.4 GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS DE DUREZA Y TRACCIÓN

**3.4.1 Número de muestras.** Los ensayos de dureza y tracción para materiales compuestos con matriz polimérica se rigen por las normas internacionales ASTM D2240, ASTM D790 Y ASTM D638 respectivamente; estableciendo que al menos 5 probetas deben ser ensayadas por cada variable a estudiar.

**3.4.2 Dimensiones.** Según lo dispuesto en las normas internacionales para cada tipo de ensayo mecánico a realizar a un material reforzado con fibras distribuidas de forma aleatoria y discontinua, las dimensiones de las probetas son las siguientes;

- Para el ensayo de dureza shore D la norma ASTM 2240 establece que la probeta puede tener forma circular o rectangular siempre y cuando cumpla con un espesor mínimo de 4 mm y un diámetro de 80 mm, tal como de muestra en la figura11

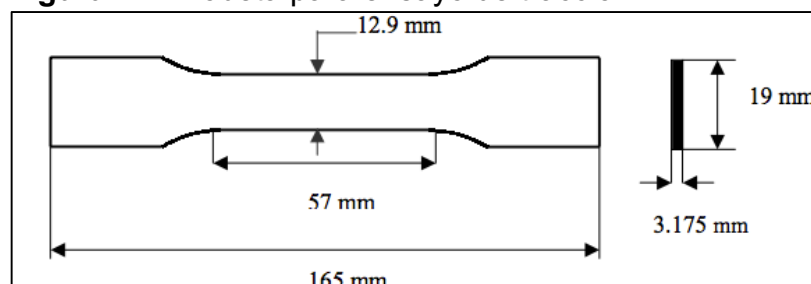
**Figura11.** Probeta para ensayo de dureza



Fuente. ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2240

- Para el ensayo de tracción la norma ASTM D638 establece el uso de probetas tipo halterio, cuya forma y dimensiones se muestran en la figura 12

**Figura 12.** Probeta para ensayo de tracción



Fuente. ASTM INTERNATIONAL. ASTM D638

### **3.5 CONFORMACIÓN DE MOLDES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS A UTILIZAR EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS**

Para fabricar los moldes requeridos para producir las probetas con las dimensiones establecidas por el estándar ASTM para cada una de las pruebas que se requiere realizar se utiliza caucho silicona; las piezas con la forma de las probetas a copiar se fabrican en MDF. Este procedimiento se realiza también para fabricar el molde del tacón a reproducir, con la diferencia que la pieza guía es un tacón de ABS de los utilizados por Lisantiny.

Para conformar los moldes se llevaron a cabo los siguientes pasos;

- Se fabrican en MDF las probetas con las formas y dimensiones establecidas por la normas anteriormente mencionadas para el ensayo de dureza, flexión y tracción respectivamente
- Las piezas a reproducir deben estar limpias y secas
- Se requiere un recipiente con las dimensiones aptas para contener la pieza a copiar y en el cual se obtenga el molde del espesor deseado. Para las probetas tipo halterio se fabrica el recipiente en MDF y así evitar el desperdicio de caucho silicona; para las probetas rectangular y circular se utiliza un recipiente desechable con las debidas formas
- Una vez el recipiente está limpio y seco se adhiere a él la pieza a copiar, en este caso las probetas, ya sea con pegante o clavos; se debe verificar que no quede espacio alguno entre el recipiente y la pieza a reproducir
- Teniendo en cuenta el volumen a llenar, se realiza la mezcla para obtener la caucho silicona, sabiendo que por cada 100 mililitros de caucho silicona se deben adicionar 3 gotas de catalizador. Esto se debe mezclar de forma envolvente por 2 minutos, de manera constante y suave, sin agitar para evitar que se incorpore aire a la mezcla
- Se vacía la mezcla en el recipiente cuidando que la pieza adherida quede totalmente cubierta
- Se golpea el recipiente suavemente sobre una superficie plana y dura con el fin de eliminar las burbujas que puedan quedar atrapadas dentro de la mezcla
- Al cabo de unos minutos, aproximadamente 10, la mezcla deja de estar líquida, ya no fluye. Al pasar 24 horas, a temperatura ambiente, alcanza su elasticidad característica, lo cual se comprueba porque al realizar un esfuerzo sobre el molde, este retorna a su forma inicial

- Transcurridas 24 horas, se retira el molde del recipiente que lo contiene, listo para ser usado

### 3.6 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA DETERMINAR LAS COMPOSICIONES DE LAS PROBETAS A CONFORMAR PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS

El parámetro fundamental para definir la composición de las probetas que serán sometidas a los diferentes ensayos se basa en investigaciones previas realizadas, donde se establece que en la industria de los MCs las piezas donde las partículas de refuerzo son adicionadas a la matriz y su distribución es aleatoria, son útiles si contienen al menos un 30% de su peso en refuerzo ya que esta proporción establece una óptima relación peso/resistencia.<sup>24</sup>

La variación en la composición de las probetas se da en rangos de 10% entre mezcla y mezcla, se define de esta forma partiendo del procedimiento experimental desarrollado en una investigación realizada en Brasil, donde estos rangos funcionan de manera óptima siendo el objetivo del estudio hallar la mejor composición de polietileno – fibras de coco para conformar un material compuesto con fines de uso eléctrico.

Las composiciones a utilizar para conformar las probetas para los ensayos de dureza y tracción se evidencian en las tablas 5 y 6 respectivamente; se varía la relación de mezcla entre la resina epóxica y el aserrín obteniendo 10 mezclas diferentes. Aunque se establece que los MCs deben tener mínimo el 30% de su peso en material de refuerzo, en esta experimentación se tendrá en cuenta la matriz sin refuerzo, esto con el fin de evaluar las propiedades de la resina, pues a pesar de contar con las propiedades que el proveedor brinda, es de mayor validez ensayar probetas de 100% resina bajo las mismas condiciones de fabricación y ensayo que aquellas compuestas por el nuevo material.<sup>25</sup>

**Tabla 5.** Composición de las probetas para ensayo de dureza

	En porcentaje (%)		En peso (gr)	
	Matriz	Refuerzo	Matriz	Refuerzo
Composición 1	100	0	8	0
Composición 2	90	10	7,2	0,8
Composición 3	80	20	6,4	1,6

<sup>24</sup> NATURAL AND WOOD FIBRE REINFORCEMENT IN POLYMERS. Experimental procedure. [En línea]. [11 de Julio de 2015]. Disponible en: ([https://books.google.com.co/books/about/Natural\\_and\\_Wood\\_Fibre\\_Reinforcement\\_in.html?id=XoZa5t3\\_ogAC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Natural_and_Wood_Fibre_Reinforcement_in.html?id=XoZa5t3_ogAC&redir_esc=y))

<sup>25</sup> POLYPROPYLENE MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH COCONUT FIBERS. Experimental procedure [En línea]. [11 de Julio de 2015]. Disponible en: ([http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-14392011000300013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392011000300013))



**Continuación tabla 5.**

Composición 4	70	30	5,6	2,4
Composición 5	60	40	4,8	3,2
Composición 6	50	50	4	4
Composición 7	40	60	3,3	4,8
Composición 8	30	70	2,4	5,6
Composición 9	20	80	1,6	6,4
Composición 10	10	90	0,8	7,2

**Tabla 6.** Composición de las probetas para ensayo de tracción

	En porcentaje (%)		En peso (gr)	
	Matriz	Refuerzo	Matriz	Refuerzo
Composición 1	100	0	13	0
Composición 2	90	10	11,7	1,3
Composición 3	80	20	10,4	2,6
Composición 4	70	30	9,1	3,9
Composición 5	60	40	7,8	5,2
Composición 6	50	50	6,5	6,5
Composición 7	40	60	5,2	7,8
Composición 8	30	70	3,9	9,1
Composición 9	20	80	2,6	10,4
Composición 10	10	90	1,3	11,7

Estas cantidades de mezcla corresponden a la elaboración de una probeta para cada tipo de ensayo; se debe tener en cuenta que se necesitan mínimo 5 probetas por variable a estudiar.

**3.6.1 Preparación de las composiciones.** Este en específico es para conformar 5 probetas de composición 10 con las dimensiones aptas para el ensayo de dureza, las cuáles recomiendan los fabricantes de zapatos son útiles para realizar la prueba de clavado;

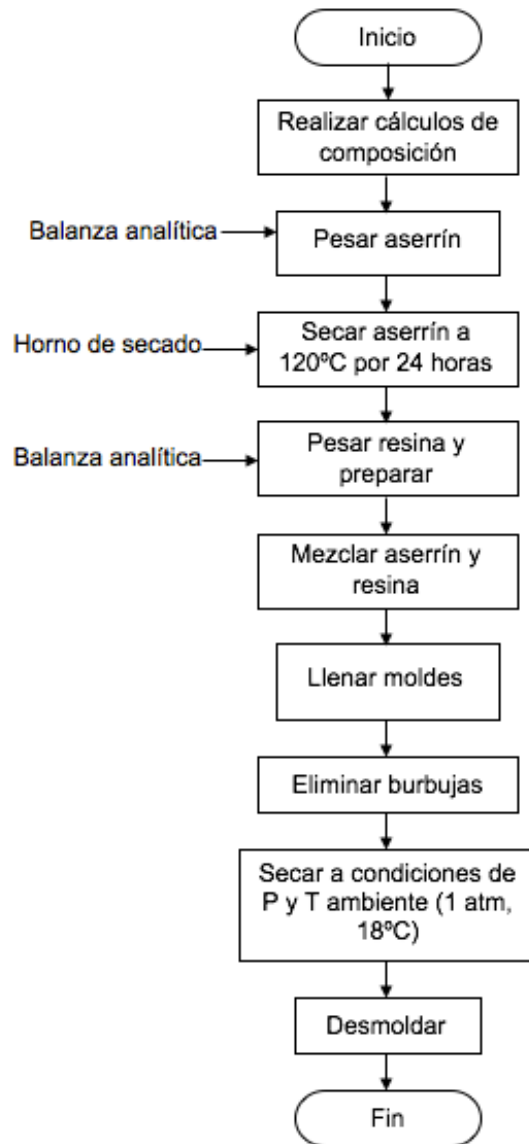
- Se requieren aproximadamente 43 gr de aserrín, de los cuales 36 gr corresponden a los cálculos de la composición 10, 4,32 gr corresponden al 12% por pérdida de peso durante el secado y 2 gr suponiendo pérdidas de material por contacto con el recipiente de mezcla. Se toma la muestra calculada de aserrín (43 gr) y se lleva al horno de secado a 120°C de temperatura por un periodo de 24 horas. Esto se realiza el día anterior a la conformación de las probetas

- Los moldes a utilizar deben estar secos y limpios previo al vaciado de cada mezcla
- Se requieren 4 gr de resina; suponiendo 2 gramos de pérdida, se pesan en la balanza analítica 3 gramos de la parte A de la resina y 3 gramos de la parte B (indicaciones del proveedor; relación 1:1). Preferiblemente el recipiente de pesaje y mezcla de la resina debe ser el mismo donde se va a llevar a cabo la mezcla de la matriz con el refuerzo, de esta manera disminuyen las pérdidas de material por contacto
- Se pesan en la balanza 39 gramos de aserrín previamente seco para corroborar la cantidad y cumplir con la composición 10
- Se unen ambas partes, matriz y reforzante en el recipiente que contiene la matriz hasta obtener una mezcla homogénea a la vista
- Se vacía la mezcla en los respectivos moldes
- Se golpea cada molde sobre una superficie dura y plana para eliminar las burbujas de aire que pueda contener la mezcla con el fin de evitar vacíos o deformaciones en las probetas
- Se dejan secar a temperatura ambiente (18°C) los moldes llenos para permitir el curado de la mezcla
- Transcurridas 24 horas se desmolda cada probeta

Se debe tener en cuenta que las cantidades de aserrín y resina varían dependiendo la composición a conformar y la cantidad de probetas a fabricar

A continuación se presenta el diagrama de flujo en bloques (BFD) del proceso anterior;

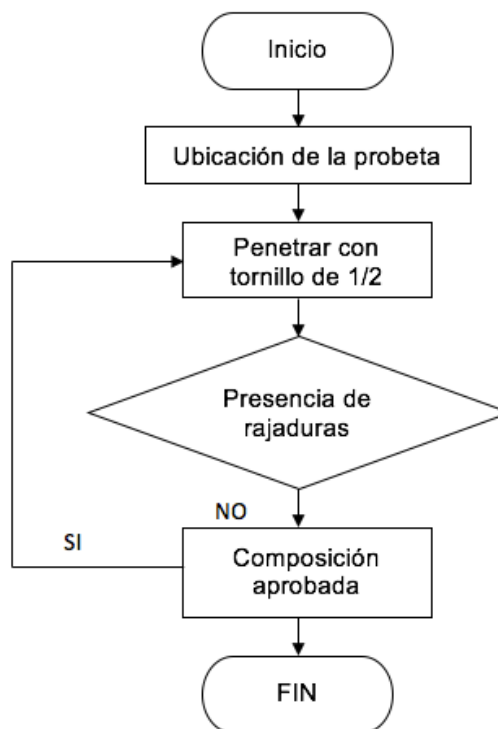
**Diagrama 7.** Procedimiento de preparación de la composición 10



**3.6.2 Selección de las mejores composiciones.** Siguiendo el procedimiento anterior se fabrican 50 probetas con las dimensiones del ensayo de dureza, con la excepción que el espesor es de 2 cm, para lo cual se utilizan como moldes vasos desechables. Se conformaron 5 probetas por cada composición establecida. Esto se hace para llevar a cabo la prueba de clavado, la cual según la experiencia de los fabricantes de zapatos y tacones, es la prueba estándar de calidad en la industria zapatera para aprobar o no el uso de un tacón. En el diagrama 8 se muestra el procedimiento de dicha prueba, el cual se describe a continuación;

- Se ubica la probeta en una superficie plana, dura y antideslizante, en este caso se utiliza cuero
- Se sostiene un clavo de  $\frac{1}{2}$  pulgada en el centro de la probeta y con un golpe seco se penetra el material hasta que el clavo se introduce completamente
- Se verifica que no se raje o estríe la probeta, de ser así se deshecha y se continúa con otra prueba

**Diagrama 8.** Procedimiento prueba de clavado



Con base a los resultados obtenidos en la prueba de clavado, se decide utilizar para los ensayos probetas conformadas por la composición 7 y 8, puesto que fueron las únicas que no se rajaron o estriaron al momento de penetrar con el clavo el material. Las probetas de composición 2, 3 y 4 aunque no se rajaron ni estriaron no son tenidas en cuenta, pues al estar compuestas en su mayoría por resina predominan las propiedades de esta, faltando al objetivo principal de esta investigación, el cual radica en crear un material compuesto donde se evidencie el uso de partículas de madera, con el fin de obtener sus propiedades, reducir costos de materias primas y aportar a la conservación del medio ambiente. Se decide utilizar probetas de la composición 1, 7 y 8.

### 3.7 PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

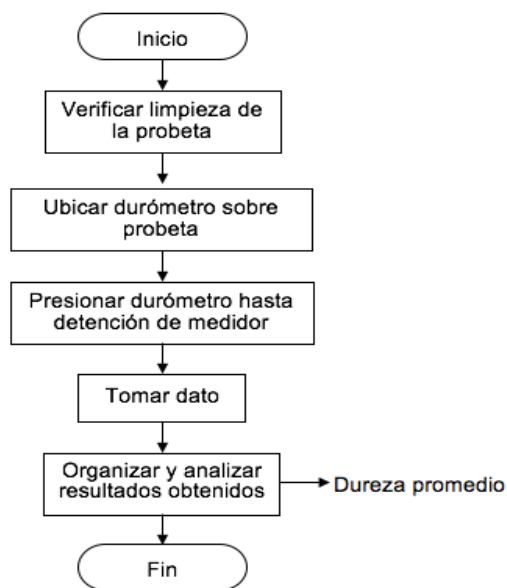
**3.7.1 Ensayo de dureza shore D.** Este ensayo es la escala de medida de la dureza elástica de los materiales, se evalúa midiendo la profundidad que alcanza una punta de acero normalizada al ser presionada contra el material. Dependiendo el tipo de material a ensayar se define el tipo de ensayo a realizar, es decir, el método shore A se aplica a materiales blandos como gomas, elastómeros, entre otros, en este se ejerce presión de 12,5 Newton; el método shore D se aplica a gomas duras, termoplásticos, termoestables, entre otros, en este se ejerce presión de 50 Newton. Los resultados se leen directamente del durómetro, el cuál tiene una escala de 100 divisiones, iniciando en cero. El ensayo tuvo lugar en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad El Bosque.

En el diagrama 8 se muestra el procedimiento para realizar el ensayo de dureza shore D según la norma ASTM D2240, se describe a continuación;

- La superficie del material a ensayar debe ser completamente plana y estar ubicada en una superficie dura y plana
- Se ubica el durómetro sobre la muestra con paralelismo de caras y se aplica presión hasta detención del durómetro
- Se toma el dato correspondiente en la escala

Se realiza el mismo procedimiento a cada una de las 15 probetas, cinco probetas de composición 7, a 5 de composición 8 y a 5 de composición 1.

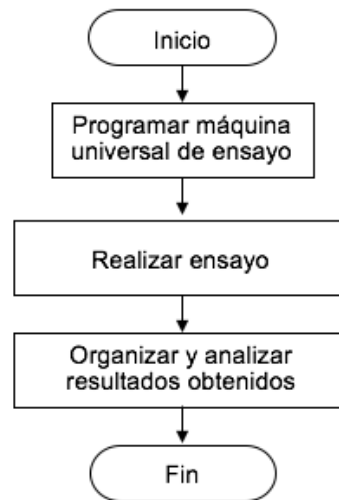
**Diagrama 9.** Ensayo dureza shore D



**3.7.2 Ensayo de tracción.** Consiste en someter una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. La probeta con sección transversal rectangular constante se somete a cargas de tensión. La fuerza axial se registra mediante la máquina de ensayo universal Instron y el cambio de longitud axial se monitorea mediante un transductor de desplazamiento. El esfuerzo último del material se determina desde la última fuerza alcanzada antes de fallar. Con los datos obtenidos es posible calcular el módulo de elasticidad, la deformación unitaria última y el esfuerzo último de tensión.

Siguiendo los parámetros dados por la ASTM D3039 el ensayo debe realizarse a una velocidad de deformación de 2 mm/min y una longitud de prueba de 50 mm. El ensayo tuvo lugar en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad El Bosque. En el diagrama 10 se muestra el procedimiento para realizar el ensayo de tracción, los datos obtenidos se encuentran en el anexo B;

**Diagrama 10.** Procedimiento  
Ensayo de tracción



El análisis de los datos obtenidos se encuentra en el capítulo 4.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

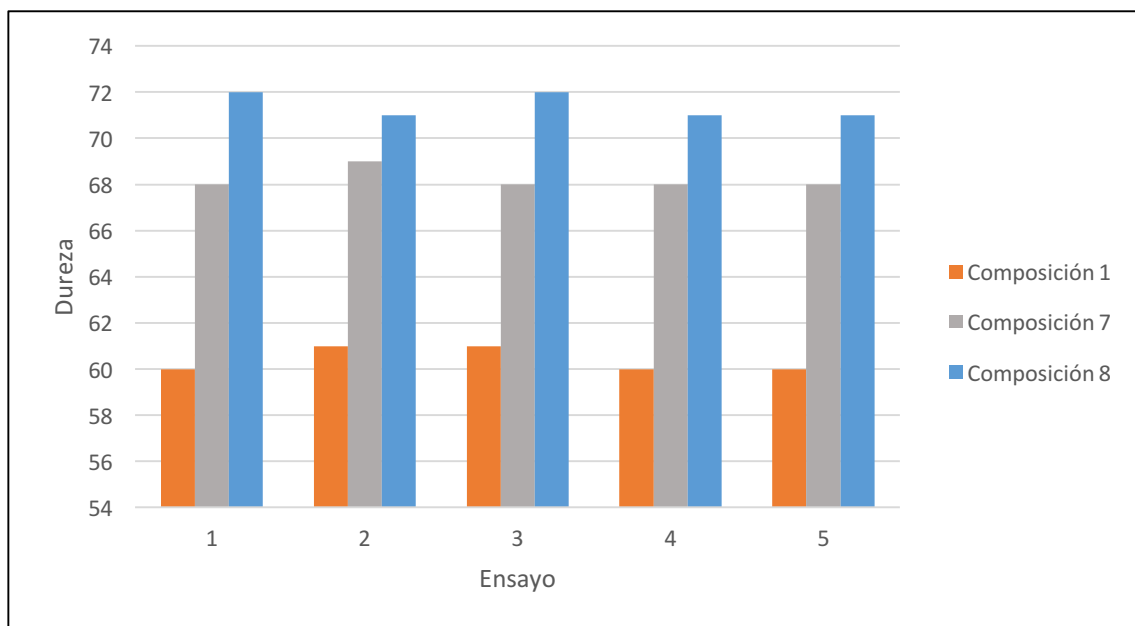
Se exponen los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de dureza y tracción descritos en el capítulo anterior, haciendo las comparaciones pertinentes entre las composiciones de mezcla ensayadas. En todos los ensayos se decide incluir el material sin refuerzo para una mejor comparación.

### 4.1 ENSAYO DE DUREZA SHORE D

Para realizar este ensayo se llevaron a cabo 5 mediciones por composición, demostrando que las probetas fabricadas con la composición 8 en comparación con las compuestas por solo matriz, es decir, la composición 1, aumentaron su dureza significativamente, lo cuál es indicativo que a medida que se refuerce en mayor cantidad la resina con partículas de madera, mejor será esta propiedad.

**4.1.1 Dureza shore D promedio.** En el gráfico 2 se puede evidenciar que la composición 8 logró mejorar su dureza en 4,41% en comparación a la composición 7 y 18,33% en comparación a la composición 1, por esto, es apropiado decir que se han obtenido resultados satisfactorios respecto al aumento de dureza del compuesto comparado con la matriz sin adición de refuerzo.

**Gráfica 2.** Dureza Shore D



Al no necesitar este ensayo la medición óptica de la penetración, la cual se convierte en un número de dureza shore D leído directamente del durómetro, el resultado es adimensional, lo cuál da a esta propiedad un carácter cualitativo principalmente para comparar materiales.

## 4.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Las propiedades que se obtienen de este ensayo miden la resistencia del material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Se determina la resistencia del material, su ductilidad y también el módulo de Young. Se ubica en la máquina de prueba la probeta del material de dimensiones estandarizadas, a la cual se aplica una fuerza llamada carga. Para medir el cambio de longitud que presenta la probeta al aplicar la carga, se utiliza un extensómetro, permitiendo el cálculo de la deformación unitaria.

Al realizar un ensayo de tensión, entre los datos obtenidos se encuentran la carga en función del cambio de longitud, estos datos se convierten en esfuerzo y deformación unitaria. La curva esfuerzo-deformación se analiza para obtener las propiedades del material, pues de allí provienen el módulo de young y la resistencia a la cedencia. En el anexo A y B se muestran respectivamente las gráficas y los datos resultado del ensayo obtenidos directamente de la máquina BESMAK.

**4.2.1 Deformación Vs. Esfuerzo.** En las tablas 7, 8 y 9 se muestran los datos organizados para la realización de las gráficas de deformación Vs. esfuerzo obtenidas de los ensayos realizados a cada material.

**Tabla 7.** Deformación Vs. esfuerzo de la madera

Probeta	Carga Máx. (KN)	Esfuerzo Máx. (Mpa)	Deformación (mm)
M1	4,522	58,918	81,41
M2	5,326	80,256	81,41
M3	5,703	89,567	81,41
M4	6,598	96,833	81,22
M5	6,147	98,204	83,22

**Tabla 8.** Deformación Vs. esfuerzo de la resina

Probeta	Carga Máx. (KN)	Esfuerzo Máx. (Mpa)	Deformación (mm)
M1	0,908	13,206	82,05
M2	0,994	12,428	82,06
M3	1,189	13,791	82,47
M4	0,553	7,542	80,98
M5	0,338	4,877	80,4

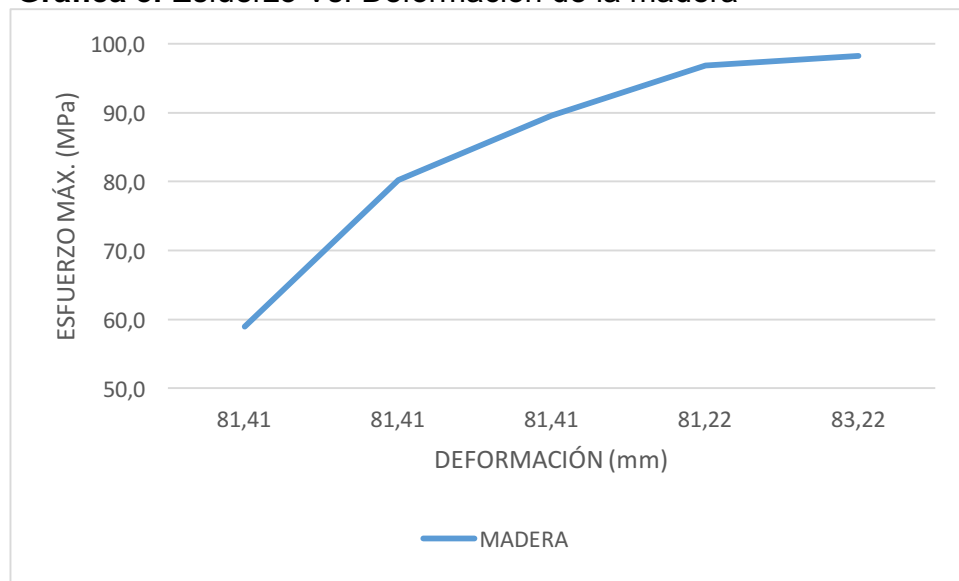


**Tabla 9.** Deformación Vs. esfuerzo del MC

Probeta	Carga Máx. (KN)	Esfuerzo Máx. (Mpa)	Deformación (mm)
M1	0,665	8,736	80,27
M2	0,647	8,312	80,22
M3	0,398	5,135	80,22
M4	0,387	5,278	81,12
M5	0,900	11,228	80,27

En los gráficos 3, 4 y 5 se muestran los resultados de las pruebas de tensión realizadas en los ensayos de tracción a las diferentes composiciones. Se presentan las curvas promedio de esfuerzo máximo contra la deformación donde se evidencia que el material compuesto tiene menor deformación que la madera y la resina sin reforzar.

**Gráfica 3.** Esfuerzo Vs. Deformación de la madera

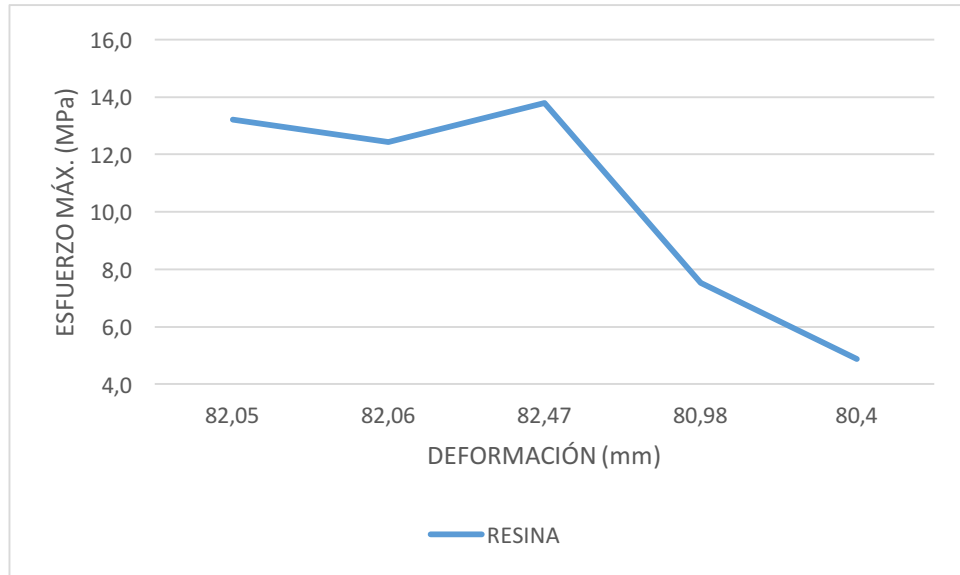


La gráfica 3 correspondiente a los ensayos de las muestra de madera M1, M2, M3, M4 y M5 evidencia que a mayor esfuerzo el material se deforma alcanzando la fatiga con un esfuerzo de 98 MPa aproximadamente.

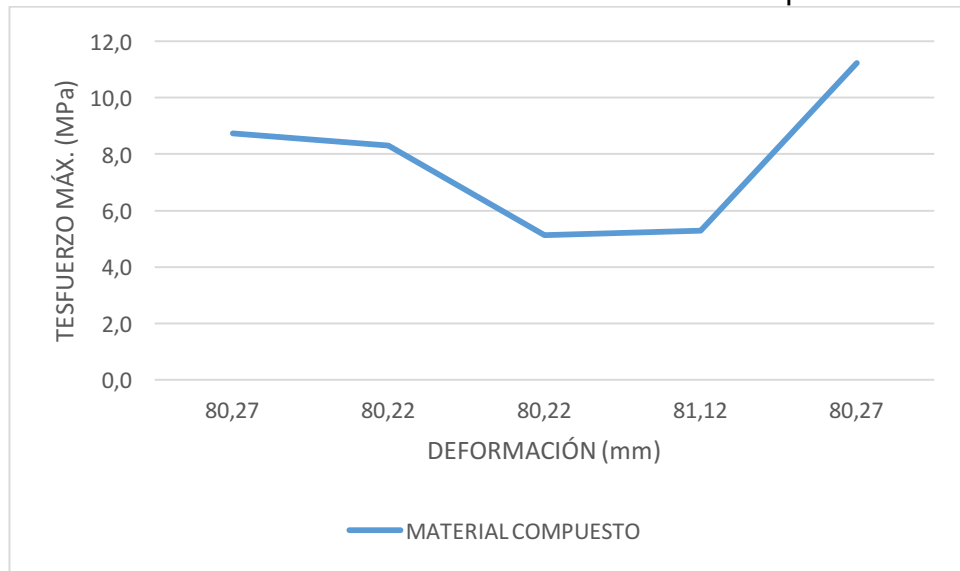
En la gráfica 4 se muestra el comportamiento de la resina sin reforzar, ensayando las probetas M6, M7, M8, M9 y M10; se evidencia que el punto de fatiga de este material es al aplicar un esfuerzo correspondiente a 12 MPa; en este valor punto empieza a deformarse y fatigarse rápidamente. Se puede afirmar que el cedro resiste 12,24% más de esfuerzo que la resina epóxica sin reforzar.

En la gráfica 5 es evidente la mejoría en la resistencia a la tensión que presenta el material compuesto y también se hace evidente que al haber un distribución aleatoria de partículas de madera en el cuerpo de cada probeta la variación de resistencia al esfuerzo se hace muy variable en cada ensayo

**Gráfica 4.** Esfuerzo Vs. Deformación de la resina



**Gráfica 5.** Esfuerzo Vs. Deformación del material compuesto



Las partículas mejoran la tenacidad del material, aportando resistencia y rigidez, en consecuencia al realizar un esfuerzo sobre el mismo, se reparte la carga de manera adecuada entre las madera y la matriz, evitando fracturas y grietas que puedan causar rotura.

### 4.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL NUEVO MATERIAL

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, se decide utilizar para la fabricación de tacones el material compuesto por 70% aserrín y 30% resina; esta relación de mezcla aporta las mejores propiedades mecánicas y supera significativamente los valores de las propiedades características del tacón de madera fabricado en Lisantiny. En el cuadro 10 se presentan las propiedades mecánicas del nuevo material halladas a nivel laboratorio.

**Tabla 10.** Propiedades mecánicas del nuevo material

<b>Dureza shore D</b>	<b>Módulo de flexión</b>	<b>Módulo de elasticidad</b>
71	5,23 GPa	7,16 GPa

Con los datos obtenidos en este capítulo, se deduce que la proporción de mezcla adecuada aserrín – resina epóxica fabricada a nivel laboratorio, es la composición 8, pues iguala y en algunas pruebas supera las propiedades del tacón de madera utilizado en Lisantiny. Partiendo de esto, se procede a plantear el proceso de fabricación del tacón utilizando el nuevo material como se plantea en el capítulo 5.

## **5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TACÓN UTILIZANDO EL NUEVO MATERIAL**

Con base a los resultados obtenidos y analizados en el capítulo anterior, provenientes de los ensayos mecánicos realizados a las diferentes composiciones, se obtienen las mejores propiedades de la composición 8, mezcla conformada por 30% matriz – 70% refuerzo.

Para llevar a cabo la fabricación de los tacones con el nuevo material es necesario elaborar varios moldes con la forma del tacón que se desea conformar. Estos moldes se realizan en silicona, siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3 numeral 3.1.1.

### **5.1 MATERIAS PRIMAS**

El aserrín utilizado para la conformación del nuevo material será el proveniente del moldeo de cedro, el cuál se almacenará en las instalaciones del depósito de maderas MADERAS LA 170 hasta el momento de uso. Se plantea un régimen de recogida semanal, con el fin de evacuar el material del depósito y así evitar que absorba más humedad del ambiente. La resina epóxica a utilizar será la adquirida comercialmente, se solicitará al proveedor la cantidad requerida según el proceso de producción planteado en la fábrica de zapatos.

### **5.2 EQUIPOS**

Debido a que el proceso de conformación de los tacones con el nuevo material es netamente artesanal, puesto que el moldeo por contacto es el método de fabricación que se emplea en este proceso de producción, sólo se requiere de la cantidad de moldes en silicona necesarios para cumplir con los requerimientos según las órdenes de producción de la fábrica de zapatos. De esta manera se aprovechan dos de las características más importantes de la resina: su curado sin calor y sin presión.

### **5.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN**

El proceso de producción descrito a continuación se lleva a cabo de esta manera teniendo en cuenta los elementos presentes en la fábrica, además es propio para dar a la resina su forma final. La proporción de mezcla utilizada (70% aserrín – 30% resina) se determinó en el capítulo 3, donde al ser ensayada experimentalmente se obtuvieron los mejores resultados de comportamiento mecánico con esta relación de materias primas.

**5.3.1 Recepción de materias primas.** El aserrín se recoge en el depósito de maderas los días viernes de cada semana, se embala en lonas con capacidad de 10 Kg y se transporta en un furgón hasta la fábrica de zapatos. La resina epóxica

llega a la fábrica según el pedido, en presentación de 4 Kg cada parte, es decir, A y B. Posterior a esto se procede a verificar el estado de cada envase, es decir, tapa sellada, envase sin abolladuras y ficha técnica con las características del producto. Una vez recibidas las materias primas, la resina se almacena en condiciones de temperatura y humedad ambiente, óptimas para su conservación física y química y el aserrín se lleva a secado.

**5.3.2 Secado.** El aserrín se introduce al horno de secado, en el cuál debe permanecer por un periodo de 24 horas a temperatura constante de 120°C para eliminar el contenido de humedad que presenta, obtener su estado anhidro y así mejorar sus propiedades físicas para el proceso. Terminado el tiempo de secado, se retira del horno y se almacena en un lugar adecuado donde permanezca totalmente aislado del ambiente hasta el momento de su uso.

**5.3.3 Pesaje de materias primas.** El pesaje de materias primas se realiza previo al momento de mezcla haciendo uso de una balanza multifunción serie PCE-PCS, la cual tiene un rango de pesaje de hasta 30 Kg. Está fabricada en plástico ABS, acero inoxidable y bandeja de aluminio, con celda de precisión de 0,5 gr. Se debe verificar previo a su uso que esté correctamente conectada a la fuente de energía eléctrica y nivelada en una superficie sólida y plana para garantizar exactitud en los resultados. El pesaje de las materia primas es parte fundamental del proceso, pues de esto depende la conservación de la relación de mezcla entre cada uno de los componentes del nuevo material.

**5.3.4 Preparación de resina.** En un recipiente plástico de peso conocido, con capacidad de 50 Litros y con un orificio de salida en uno de los costados inferiores que cuenta con una llave de paso en PVC, se mezclan en proporción 1:1 la parte A y B de la matriz, en las cantidades requeridas, para cumplir con las concentraciones de 70% reforzante y 30% matriz; de esta manera se evita el desperdicio de materia prima y se cumple con los estándares de producción. La mezcla se realiza durante aproximadamente 5 minutos, con movimientos envolventes y constantes, esto es importante para evitar la incorporación de aire en la mezcla de la resina y así mismo evitar la formación de burbujas; se utiliza como mezclador un tubo de PVC sellado en ambos costados.

**5.3.5 Mezcla y homogenización.** Al recipiente donde se prepara la resina, se adiciona el aserrín previamente secado y pesado; se procede a mezclar ambas partes de tal forma que todas las partículas de reforzante se vean envueltas por la matriz. Esta mezcla se debe hacer de manera envolvente y constante, durante 5 minutos, tiempo durante el cual se debe obtener una composición homogénea a la vista.

**5.3.6 Llenado y moldeo.** Lista la mezcla, se dispone el molde bajo la llave de salida del recipiente, se abre el paso y se llena el mismo hasta el tope. Luego de esto cada molde lleno se golpea suavemente tres o cuatro veces sobre una

superficie dura y plana, para eliminar la presencia de burbujas que puedan estar dentro del compuesto. Se llevan los moldes a una base fabricada en madera para mantenerlos en posición vertical durante 8 horas y a temperatura ambiente, tiempo durante el cual se cura la resina y se asegura una buena conformación del tacón. Finalizado el llenado, se debe limpiar con varsol industrial el recipiente que contiene la mezcla, evitando así taponamientos en la llave de paso y contaminaciones en mezclas posteriores.

**5.3.7 Desmolde.** Para desmoldar cada pieza solo se debe tomar el molde de silicona y presionar suavemente en la parte inferior del mismo, de esta manera el tacón saldrá del molde. Al tener los moldes vacíos, se verifica que no presenten residuos de la mezcla, de tenerlos, se lavan como cualquier recipiente de cocina, con agua y jabón y se deja listo para su posterior uso.

**5.3.8 Calidad.** En esta etapa se verifica que el tacón no presente grietas, burbujas, rajaduras o cualquier tipo de imperfección perceptible a la vista. La prueba de calidad que se realiza al tacón terminado se denomina prueba de clavado y esta se realiza solo al momento de ensamblar el tacón; es el único ensayo que define si el tacón es apto para ensamble en la producción o no. Si presenta agrietamientos se desecha.

**5.3.9 Ensamble.** Debido a que en este punto se comprueba si el tacón es apto o no para su uso, se deben llevar a cabo los siguientes pasos para verificar que el tacón no se raje pues es el único indicativo de que el producto es defectuoso;

- Si el diseño lo requiere, se forra el tacón con el material requerido
- El tacón debe estar firmemente pegado a la plantilla antes de ser clavado
- El tacón debe ser sujetado a la plantilla mínimo en tres partes con un tornillo en el centro y con dos tornillos a los lados a una distancia mínima de 17 milímetros entre si. Cuando el tacón es diseñado para ser utilizado con refuerzo metálico, el tacón se sujeta a la plantilla con un tornillo en el centro y con cuatro clavos estriados a los lados a una distancia mínima de 17 milímetros entre si
- Tanto el tornillo como los clavos estriados deben penetrar como mínimo 12 milímetros el material del tacón
- Se clava la tapa de goma a cada tacón, lo cual se realiza a presión, con un golpe seco y firme

Al finalizar el ensayo se corrobora que el tacón no presente rajaduras o agrietamientos de ningún tipo en su superficie

## 5.4 DIAGRAMAS DEL PROCESO

Se presenta el proceso productivo del tacón en condiciones artesanales, especificando las variables de operación en cada etapa.

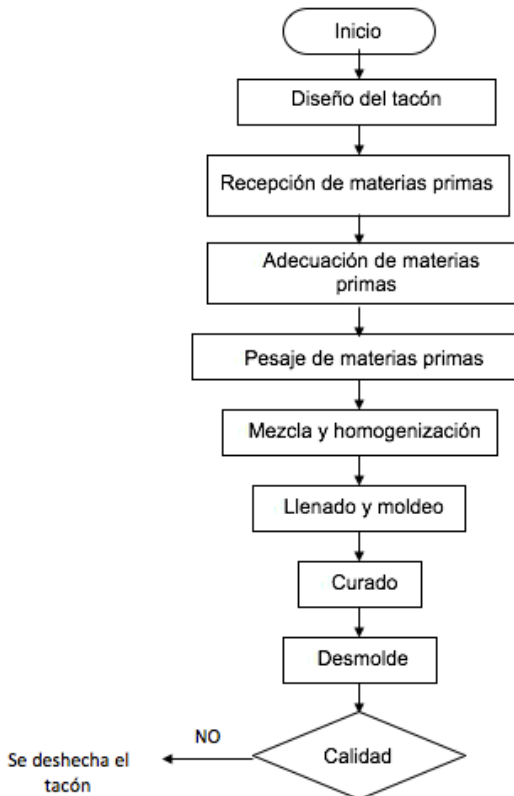
**5.4.1 Diagrama general.** Se representa el proceso general, entradas y salidas, es decir, materia prima y producto terminado. En la sección 5.5 se especifican las condiciones de operación de cada una de las etapas del proceso y se realizan los balances de masa correspondientes, con una base de cálculo de 97 gr, masa correspondiente a la producción de una unidad, es decir, un tacón.

**Diagrama 11.** Producción general de un tacón con nuevo material

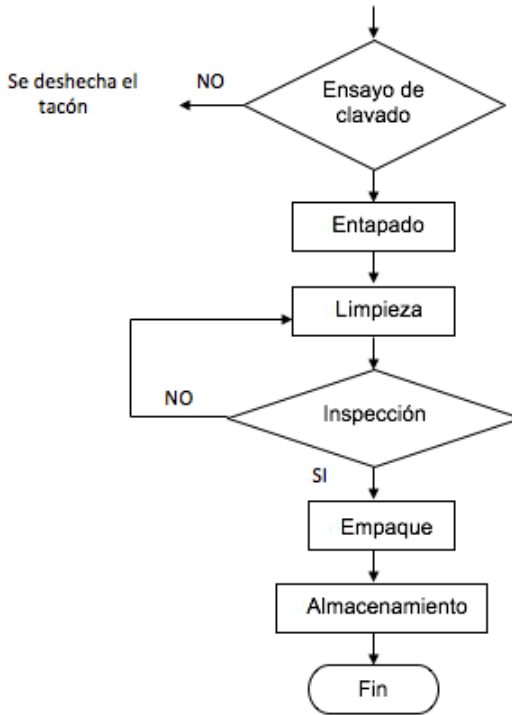


**5.4.2 Diagrama de flujo de bloques (BFD).** Se especifican el orden de los procesos a realizar para la obtención del tacón.

**Diagrama 12.** Producción de un tacón con el nuevo material



### Continuación Diagrama 12

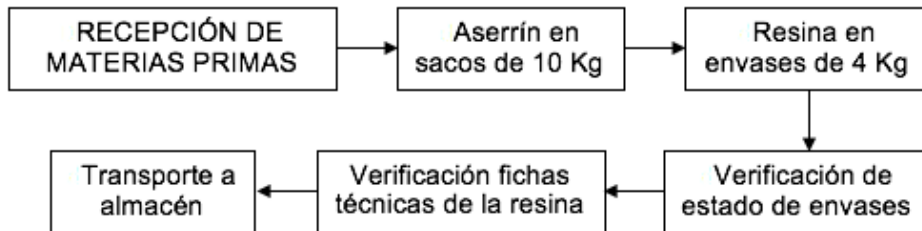


## 5.5 OPERACIONES UNITARIAS

Se describe cada etapa del proceso con las condiciones del mismo, especificando entrada y salida de materias y productos en cada operación que así lo requiera.

**5.5.1 Recepción de materias primas.** Se reciben los materiales de acuerdo a las características y cantidades establecidas, verificando que se encuentren en buenas condiciones y su calidad sea la requerida.

**Diagrama 13.** Recepción de materias primas



**5.5.2 Adecuación de materias primas.** En esta etapa se seca el aserrín. La temperatura y tiempo de secado, 120°C durante 24 horas respectivamente, son condiciones establecidas por la norma ASTM C136 para eliminar hasta un 85% del



contenido de humedad de partículas de origen vegetal y así obtener su estado anhidro.

**5.5.3. Pesaje de materias primas.** Parte Importante del proceso, del cumplimiento de los pesos de cada materia prima depende la obtención del material con la relación de mezcla requerida, 70%aserrín – 30% resina.

**5.5.3.1 Pesaje de aserrín.** Sabiendo que un tacón pesa 97 gr y el 70% de su peso corresponde a aserrín, entonces se requieren 67,9 gr de aserrín.

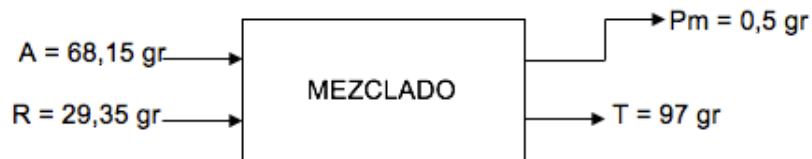
**5.5.3.2 Pesaje de resina.** Sabiendo que un tacón pesa 97 gr y el 30% de su peso corresponde a resina, entonces se requieren 29,1 gr de resina.

**5.5.3.3 Preparación de la resina.** Una vez determinada la cantidad de resina requerida para la producción, se mezclan la parte A y B de la resina en relación 1:1.

NOTA. Se debe tener en cuenta que por cada tacón a fabricar se pierden 0,5 gr de la mezcla resina-aserrín, debido a que esta se adhiere a las paredes del recipiente de mezcla.

**5.5.4 Mezclado.** En el recipiente que contiene la resina preparada, se adiciona el aserrín lentamente y de forma constante y envolvente se mezclan ambas partes hasta lograr una composición homogénea a la vista. Se realiza en este recipiente para evitar más pérdidas de resina envasando de un contenedor a otro.

**Diagrama 14.** Mezcla aserrín-resina



Donde;

A = Aserrín (gr)

R = Resina (gr)

T = Tacón (gr)

Pm = Pérdidas de material (gr)

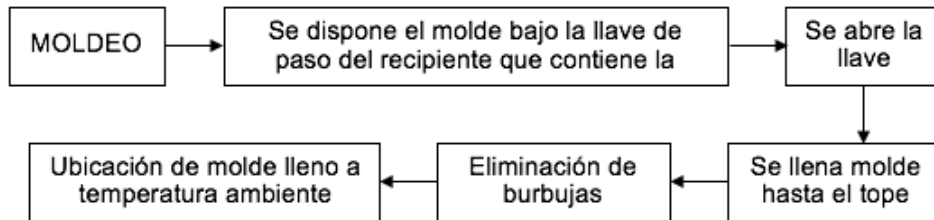
Teniendo en cuenta que Entrada = Salida, aplicando la ecuación 5 se obtiene el balance de masa en el mezclado de preparación del nuevo material

$$\begin{aligned} & \text{Entrada} = \text{Salida} \\ & A + R = T + Pr \text{ (Ecuación 5)} \\ & 68,15 + 29,35 = 97 + 0,5 \\ & 97,5 = 97,5 \end{aligned}$$

Realizado el balance de masa en la operación de mezclado de materias primas, se corrobora que cada tacón pesa 97 gr y que las pérdidas de la mezcla resina-aserrín en conjunto corresponden al 0,51%.

**5.5.5 Llenado y moldeo.** Se da la conformación del tacón, vaciando en los moldes previamente listos la mezcla dispuesta en el recipiente por medio de una llave de paso. Se abre y se llena el molde hasta el tope; se golpea la base del molde de forma contundente y firme contra una superficie sólida y plana para eliminar las posibles burbujas presentes en la mezcla; se ubican los moldes en un lugar donde no corran peligro de caída, o movimiento que pueda alterar el resultado final.

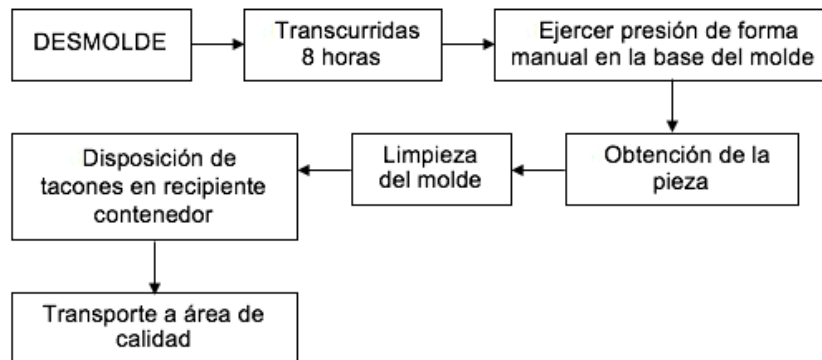
**Diagrama 15.** Llenado y moldeo



**5.5.6 Curado.** El secado de la mezcla se da al término de 8 horas. No es necesario ejercer presión sobre el molde para obtener piezas de buena calidad, tampoco se requiere de elevadas temperaturas para el secado; la resina se caracteriza por alcanzar su forma final bajo condiciones de presión y temperatura normales, es decir, 1 atm y 18°C respectivamente.

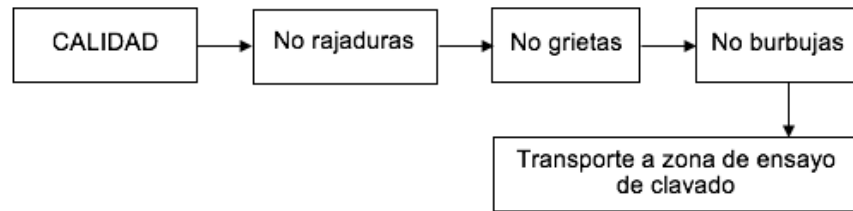
**5.5.7 Desmolde.** Para obtener la pieza, se debe presionar la base del molde suavemente y el tacón irá desprendiéndose del molde fácilmente, sin mayor esfuerzo. Luego de esto es necesario retirar los residuos de material que puedan quedar adheridos a la superficie interna del molde y de esta manera tenerlos limpios y dispuestos para su posterior uso.

**Diagrama 16.** Desmolde de la pieza



**5.5.8 Calidad.** El tacón se examina meticulosamente para detectar en él posibles grietas o rajaduras, incluso burbujas muy grandes; esto con el fin de desechar las piezas que presentan defectos a simple vista, pues si llegasen a ensamblado posiblemente darían como resultado un zapato defectuoso, ya que al clavarse se rajaría partiéndose en dos o más trozos.

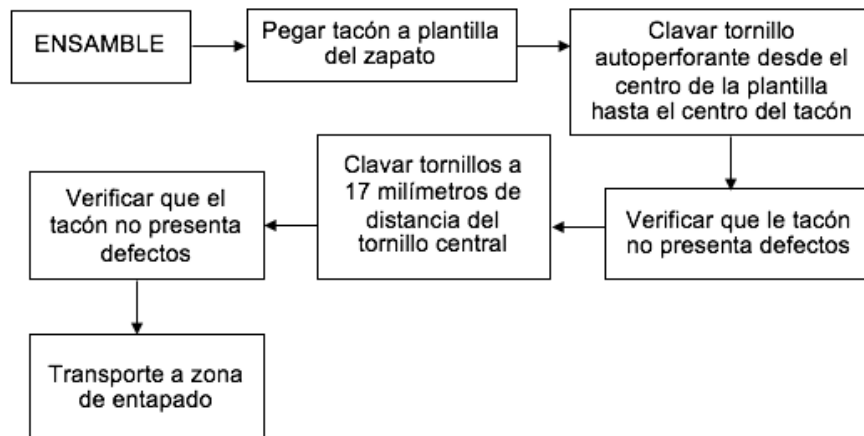
**Diagrama 17.** Control de calidad



**5.5.9 Ensayo de clavado.** Es el único método para verificar que el tacón es apto para ser ensamblado al zapato. Si presenta grietas, rajaduras o cualquier otro defecto perceptible a la vista o al tacto se desechará. Se realiza al momento de ensamblar el tacón

**5.5.10 Ensamble.** En esta operación se comprueba si el tacón es apto para su uso o no. Se lleva a cabo pegando el tacón a la plantilla del zapato para posteriormente ser clavado, esto se hace utilizando tornillos ubicados mínimo en tres partes, uno en el centro y los otros dos mínimo a 17 milímetros de distancia entre sí. Los tornillos deben penetrar mínimo 12 milímetros el material del tacón, por lo cuál se deben utilizar tornillos estriados autopercutores de media pulgada de largo.

**Diagrama 18.** Ensamble del tacón



## 5.6 CARACTERÍSTICAS DEL TACÓN FABRICADO CON EL NUEVO MATERIAL

En el cuadro 11 se presentan las especificaciones del nuevo material en comparación a las del tacón fabricado con madera. Se puede observar que la variación en peso es notoria ya que el tacón fabricado con el nuevo material pesa 23 gr menos, lo cuál es favorable para la persona que usa los zapatos en los que se ensambla el tacón, además de esto; aunque muy poco, el valor del módulo de flexión del tacón conformado con el MC mejora un 4,39% en comparación al tacón de madera. El módulo de tracción del tacón de madera es superado por 0,38 GPa, lo que corresponde a un incremento en esta propiedad del 5,3%.

**Tabla 11.** Propiedades mecánicas tacón nuevo material/tacón madera

Tacón nuevo material			Tacón de madera		
Peso	Dureza shore D	Módulo de elasticidad	Peso	Dureza Janka	Modulo de elasticidad
97 gr	71	7,16 GPa	120 gr	992,5 Kg	6,78 GPa

Una vez establecido el proceso de fabricación del tacón con el nuevo material como se observa en este capítulo, se procede a realizar el análisis de costos del proyecto, el cuál se encuentra en el capítulo siguiente.

## 6. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se realiza el análisis de costos correspondientes al desarrollo del nuevo material, con el fin de determinar la viabilidad económica del producto; para esto se debe conocer el costo de cada una de las materias primas utilizadas en la composición del nuevo material. Cabe señalar que la empresa no realizó una inversión inicial para la obtención de las materias primas, puesto que la compañía proveedora las dio como muestras en pequeñas cantidades pero suficiente para el desarrollo de la experimentación. Los elementos necesarios para la fabricación del material, como balanza, horno de secado y demás, hacían parte de los equipos utilizados para la fabricación de otros productos. Para obtener el total de costos se hallarán los costos fijos y los costos variables

### 6.1 COSTOS

Costos directos. Los definen aquellos elementos que se convierten en parte de los productos y servicios que se producen, en estos se incluyen las materias primas y las piezas que conforman el producto, estos se conocen como costos de material. Por otra parte se encuentra el costo de salarios y beneficios que se pagan a los trabajadores por el tiempo que emplean en la fabricación del producto, estos se conocen como costos de mano de obra.

Para el presente proyecto, los costos directas involucran las materias primas utilizadas y costos de mano de obra, herramientas, equipo de seguridad y maquinaria.

**6.1.1 Materiales.** Se calculan los costos de las materias primas del nuevo material basados en la producción de una tarea, así definen la producción de 24 pares de zapatos, es decir, 48 tacones, lo cuál es lo mínimo que se fabrica en Lisantiny, de esta manera será fácil apreciar el costo de los materiales.

El desarrollo del nuevo material involucra 2 componentes, por ende, 2 materias primas. En el cuadro 15 se muestra el costo actual de cada una de ellas. Es necesario aclarar que el aserrín no tiene costo, pues en el depósito de maderas lo desechan, razón por la cuál solo se asumen los costos de su transporte desde el depósito hasta la fábrica, el cuál es de \$10.000. En este cuadro se dejan vacías las casillas correspondientes a este ítem, ya que no genera costo alguno como materia prima en el proceso de producción de los tacones

**Tabla 12.** Costo de materias primas

Materia prima	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total IVA incluido (COP)
Resina epóxica	Kg	0,744 Kg	11.000	8.184
Aserrín	-	1,87 Kg	-	-
Costo de 1 tarea				8.184
Costo de un tacón				341

**6.1.2 Insumos.** Son considerados insumos aquellas sustancias o productos que hacen parte del producto final pero no hacen parte de las materias primas para la fabricación de esta. En el desarrollo de este proyecto no hay presencia de insumos

**6.1.3 Mano de obra.** El costo de la mano de obra se determina teniendo en cuenta prestaciones sociales, seguridad social y ARL. A continuación se especifican los porcentajes de cada rubro acorde a lo establecido por la ley para el año en curso;

- Aportes parafiscales

SENA	2%
ICBF	3%
Caja de Compensación Familiar	4%

- Cargas prestacionales

Cesantías	8,33%
Prima de servicios	8,33%
Vacaciones	4,17%
Intereses sobre cesantías	1%

- Seguridad social. Este rubro está conformado por salud y pensión, donde empleador y empleado generan aporte

Salud empresa	8,5%
Salud empleado	4%
Pensión empresa	12%
Pensión empleado	4%

- Auxilio de transporte. Actualmente corresponde a \$77.700

Según los porcentajes anteriormente mencionados, y teniendo en cuenta que se requiere 1 empleado, que labora 360 días al año (tiempo que corresponde al año contable), se obtiene el costo total de mano de obra especificado en el cuadro 13.

**Tabla 13.** Costo de mano de obra

Empleado	Cargo	Salario mensual(COP)	Prestaciones (COP)
1	Operador	684.450	351.328
Costo mano de obra			1.113.478

Debido a que operador debe trabajar 2 días para cumplir con la tarea a producir, se asume que su salario por el tiempo trabajado corresponde a \$103.578

**6.1.4 Costos de energía.** El costo de energía se determina teniendo en cuenta que para realizar la tarea de 24 tacones el horno de secado debe estar en operación durante 24 horas y tiene un consumo de 2,75 Kw/h. El costo del Kw/h es el establecido por CODENSA S.A para el año presente en la ciudad de Bogotá para el sector comercial. En el cuadro 14 se especifican los cálculos

**Tabla 14.** Costo de energía consumida

Equipo	Cantidad	Consumo (KW/h)	Horas de operación	Costo KW/h	Costo total
Horno	1	2,75	24	281,5	18579

**6.1.5 Depreciación.** La depreciación anual de los equipos se estima en \$150.000, dato facilitado por Lisantiny.

## **6.2 COSTO DE PRODUCCIÓN DE TACÓN CON EL NUEVO MATERIAL Vs. COSTO DE PRODUCCIÓN DE TACÓN DE MADERA**

Luego de hallar el costo de producción de 24 tacones utilizando el nuevo material, es pertinente realizar la comparación con los costos de producción de una tarea de tacones fabricados en madera (Valor suministrado por Lisantiny). En el cuadro 18 se especifican dichos valores; con los cuales se deduce que el costo de producción de un tacón del nuevo material es de \$12.098 y de madera de \$21.370, lo cuál significa una baja en los costos de producción de 56,61%, correspondiente a más de la mitad del costo normal.

**Tabla 15.** Comparación de costos de producción entre tacones

<b>Costos</b>	<b>Tacón de nuevo material</b>	<b>Tacón de madera</b>
Materiales	8.184	512.880
Insumos	-	
Mano de obra	103.578	
Costo de energía	18.579	
Depreciación de equipo	150.000	
Costo transporte de aserrín	10.000	
Total costos	290.342	
Diferencia de costos de producción entre tacones (COP)	222.538	

El producto fabricado resulta adecuado para ser utilizado en la producción de zapatos en Lisantiny, ya que además de cumplir con las propiedades mecánicas requeridas para su uso reduce notablemente los costos de producción del mismo, y en medianas proporciones aporta a la conservación del medio ambiente al estar compuesto en un 70% por material biodegradable.



## 7. CONCLUSIONES

- El aserrín utilizado para la fabricación del nuevo material no requiere ser cribado, pues el tamaño de partícula no es una variable relevante en las propiedades mecánicas de las probetas conformadas
- El aumento de la dureza shore D en el material compuesto desarrollado en este proyecto es directamente proporcional a la cantidad de partículas de aserrín que se incorporen a la mezcla de su composición; pues hasta cierta concentración de refuerzo, en este caso el 70% en aserrín, se mejora esta propiedad mecánica
- De acuerdo con la diferencia de costos obtenidos entre la producción de un tacón con el nuevo material y la producción de un tacón de madera, el producto fabricado resulta adecuado para ser utilizado en la producción de zapatos en Lisantiny, ya que además de cumplir con las propiedades mecánicas requeridas para su uso reduce notablemente los costos de producción del mismo
- El carácter ecológico, la biodegradabilidad y el precio de las fibras vegetales son muy importantes para su aceptación en los grandes mercados de ingeniería, es por esto que, muchos materiales biodegradables o amigables con el medio ambiente están siendo investigados en la actualidad, pues es claro que se requiere un compromiso inmediato con la conservación del planeta

## 8. RECOMENDACIONES

- El secado del aserrín se puede realizar días previos a su uso, siempre y cuando se almacene en un recipiente que lo mantenga aislado, esto disminuye el tiempo de adecuación al momento de su uso
- Realizar ensayos utilizando partículas de mayor tamaño, no necesariamente provenientes de cedro macho, para disponerlas en la matriz de manera uniforme y ver si mejoran la propiedades mecánicas correspondiente a la dureza del material compuesto
- El secado del aserrín se puede realizar días previos a su uso, siempre y cuando se almacene en un recipiente que lo mantenga aislado, esto disminuye el tiempo de producción de un tacón
- Se recomienda a Lisantiny cambiar el proveedor de la resina, de esta manera es posible obtener mejores resultados al momento de realizar los ensayos mecánicos para caracterizar el nuevo compuesto y de ser posible lograr tacón con mejores propiedades mecánicas
- Se recomienda a Lisantiny adquirir un mezclador automatizado para mejorar la homogenización de mezcla al momento de combinar el aserrín con la resina epóxica

## BIBLIOGRAFÍA

ACICAM. Industria del calzado y su manufactura en Colombia. Como va el sector. Septiembre de 2015

ANDERSON, Joseph Chapman. Ciencia de los materiales. Ciudad de México: Limusa, Noriega Editores, 1988

ASKELAND, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los materiales. 3º Edición. Ciudad de México: international Thomson Editores, 2001

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and electrical insulating Materials, D790, 2010

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics, D638, 2011

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Rubber Property – Durometer Hardness, D2240, 2010

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Specific Gravity of solids by water pycnometer, D854,2012

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Amount of material finer than N. 200 sieve in aggregates, C136, 1999

BISMARCK, Alexander; MISHRA, Supriya y LAMPKE, THOMAS. Plant fibers as reinforcement for green composite. En: Amar K. MOHANTTY, Manjusri MISRA and Lawrence T. DRZAL. Natural fibers, biopolymers and biocomposite. Boca Ratón: Taylor and Francis Group, 2005

BLEDZKI, A. K y GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. Prog Polym Sci, 1999

BLEDZKI, A. K, SPERBER, V.E y FARUK, O. Natural and wood fibre reinforcement in polymers. Volumen 13, 2002

CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Barcelona: Editorial Reverté, 1996

CRISTALDI, Giuseppe. Composites based on natural fibre fabrics. Catania: University Cristaldia, 2005

CUPROFOR. Centro de utilización y promoción de productos forestales, Honduras. Cedro macho, 2012

DASH, B. N. Novel low/cost jute – polyester composite II. SEM observation of the fracture surfaces. Polym Plast Technol Eng, 2000

ESTRADA MEJÍA, Martín. Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería civil y ambiental, 2010

FAKIROV, S. Y BHATTACHARYYA, D. Engineering biopolymers: Homopolymers, blends and composites. Munich Hanser Publishers, 2007

FAO. Organización de las naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas, 2016

GALLEGO IDROBO, Sylvia Jeanneth. Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco. Trabajo de grado de ingeniería agroindustrial. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial, 2011

GAY, Daniel; HOA; HOA, Suong V y TSAI, Stephen W. Composite materials: Design and application. New York: CRC Press LLC, 2003

HAQUE, Moninul. Physico-mechanical properties of chemically treated palm and coir fiber reinforced polypropylene composites. Bangladesh: Elsevier Ltda., 2009

HARISH, S. Mechanical property evaluation of natural fiber coir composite. Elsevier Inc, 2008

HARRIS, Bryan. Engineering composite materials. London: The Institute of Materials, 1999

HULL, D y CLYNE, T. W. An introduction to composite materials. New York: Cambridge University Press, 1996

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486, 2008

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613, 2008

\_\_\_\_\_. Determinación del contenido de humedad de fibras vegetales base seca. NTC 2500, 1999

\_\_\_\_ Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490, 1998

\_\_\_\_\_ Determinación del pH de fibras vegetales. NTC 206-1, 1991

JOHN, M. J y ANANDJIWALA, R. D. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites. Polymeric Composite, 2008

KABIR, M. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. Queensland: Elsevier Ltda., 2012

KLYOSOV, Anatole Alekseevich. Wood – plastic composites. United States of America: John Wiley and Sons Inc., 2007

KUMAR, Rahul.; KUMAR, Kausik.; SAHOO, Prasanta. y BHOWMIK, Sumit. Study of mechanical properties of wood dust reinforced epoxy composite. Volumen 6, 2014. p.551-556

MESA GRAJALES, Dairo Hernán. Introducción a los materiales no metálicos: Polímeros, cerámicos y compuestos. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2003

MOHANTY, Amar K.; MISRA, Manjusri y DRZAL, Lawrence T. Natural fibers, biopolymers and biocomposite. Boca Ratón: Taylor and Francis, 2005

MONTEIRO, S. N.; TERRONES, L. H. Y D'ALMEIDA, J. R. Mechanical performance of coir fiber/polyester composites. Río de Janeiro: Elseiver Ltda., 2008

MORIANA TORRÓ, Rosana. Desarrollo y caracterización de biocomposites enfibrados procedentes de recursos naturales. Tesis doctoral. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2010

ORREGO BUSTAMANTE, Nicolás Ramiro y VELEZ URIBE, Rafael Ignacio. Manual de aplicación del poliéster CRISTALÁN reforzado con fibra de vidrio. Medellín: ANDERCOL S.A., 1997

SAHEB, D. N. y JOG, J. P. Natural fiber polymer composites: a review. Adv Polym Tech, 1999

SALÁN BALLESTEROS, M. Nuria. Tecnología de proceso y transformación de materiales. Barcelona: Edición UPC, 2005

SATYANARAYANA, Kestur G.; ARIZAGA, Gregorio G. y WYPYCH, Fernando. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – An overview. Brasil: Elseiver Ltda., 2009


SCIENCE DIRECT. Polypropilene matrix composites reinforced with coconut fibers, 2010

TOMCZAK, Fabio; DEMÉTRIO SYNDENSTRICKER, Thais Helena y SATYANARAYANA, Kestur G. Studies on Lignocellulosic fibers of Brazil – part II: Morphology and properties of brazilian coconut fibers. Curitiba: Elseiver Ltda., 2007

VAN RIJSWIJK, K.; BROUWER, W. D. y BEUKERS, A. Aplicacion of natural fiber composites in the development of rural societies. Delft: Delft University of Technology, 2001

WANG, B. Pre-treatment of flax fibers for use in rotationally molded biocomposites: Reinforcement Plastic Composite, 2007

ZHANG, Qiu Ming; RONG, Min Zhi y ZENG, Han Ming. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforcement epoxy composites. Guangzhou: Elseiver Ltda., 2001

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Yo **ELSY CAROLINA ALMANZA CORTES** (nosotros) en calidad de titular(es) de la obra **DESARROLLO DE UN MATERIAL PARA LA FABRICACION DE TACONES CON RESIDUOS DE MADERA**, elaborada en el año 2016, autorizo (autorizamos) al Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me(nos) corresponde(n) y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor(es) manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor(es) establezco (establecemos) las siguientes condiciones de uso de mi (nuestra) obra de acuerdo con la licencia **Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: [http://cc.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://cc.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

De igual forma como autor (es) autorizo (amos) la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:


AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación		

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicará (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en (la ciudad), a los 27 días del mes de FEBRERO del año 2017.

EL(LOS) AUTOR(ES):

Autor 1

Nombres	Apellidos
ELSY CAROLINA	ALMANZA CORTES
Documento de identificación No	Firma
1019050682	

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.