



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA (WPC)”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico

Autor:

Iza Ramírez Dennis Llancarlos

Tutores:

Ing. José Efrén Barbosa Galarza M.Sc.

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera M.Sc.

Latacunga - Ecuador

Febrero 2020

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Iza Ramírez Dennis Llancarlos declaro ser autor del presente proyecto de investigación: Análisis de la composición y propiedades mecánicas de la madera plástica reciclada (WPC), siendo el Ing. José Efrén Barbosa Galarza M.Sc. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



---

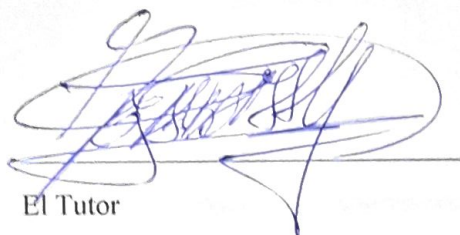
Iza Ramírez Dennis Llancarlos  
050432271-0

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA (WPC)”**, de Iza Ramírez Dennis Llancarlos, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero, 2020



El Tutor

Ing. José Efrén Barbosa Galarza M.Sc.

CC: 050142072-3

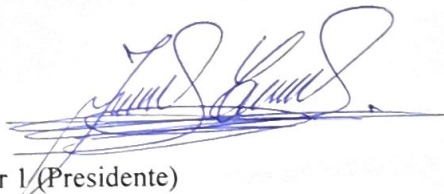
## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la Carrera de Ingeniería Electromecánica ; por cuanto, el o los postulantes: Iza Ramírez Dennis Llancarlos, el título de Proyecto de titulación: **“ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA (WPC)”** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 06 de febrero del 2020

Para constancia firman:



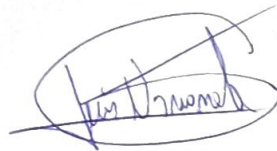
Lector 1 (Presidente)

Ing. Msc Segundo Ángel Cevallos Betún  
050178243-7



Lector 2

Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis Dr. C.  
175836725-2



Lector 3

Ing. Msc Navarrete López Luis Miguel  
180374728-4

## **AGRADECIMIENTO**

Me gustaría agradecer principalmente, a dios por darme la fuerza y sabiduría para poder culminar este proyecto. A la Universidad Técnica de Cotopaxi y a todos sus docentes por el conocimiento impartido en las aulas y laboratorios, a mi familia, personas y colegas que me han apoyado durante este proceso de investigación. También agradezco a mis abuelitos Alfredo y Clementina que me han ayudado y apoyado en el transcurso de mi carrera universitaria, a mi querida Sandy por todo su apoyo incondicional y emocional, a mis tutores: Ing. José Efrén Barbosa Galarza M.Sc. y Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera M.Sc. por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos.

*DENNIS*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación va dedicado con todo mi cariño, a mi padre Rodrigo que se encuentra en el cielo, a mi madre Sonia por darme la vida y enseñarme muchos valores, a mi hermana Juleisy, a toda mi familia en general por comprender y ayudarme en mi carrera profesional. También dedico este trabajo a todos mis amigos que me ayudaron y fueron testigos del arduo trabajo y tiempo empleado en esta investigación.

*DENNIS*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TITULO: “Análisis de la composición y propiedades mecánicas de la madera plástica reciclada (WPC)”**

**Autor: Iza Ramírez Dennis Llancarlos**

**RESUMEN**

El análisis de la composición del material WPC (Wood – Plastic Composite) compuesto de madera y plástico reciclados es un tema desconocido por la mayoría de industrias que trabajan fabricando fachadas, pisos y decoraciones de madera. El WPC está compuesto por fibras naturales que sirven como refuerzo alternativo para compuestos poliméricos. Se determinó en base a una muestra de estudio de mercado en la provincia de Cotopaxi en donde un alto porcentaje de recicladoras abastecen: La matriz polimérica y el material reforzante, el polímero más reciclado con un 86,6 % es el Polietileno de alta y baja densidad con un promedio de 2,3 ton/mes, el tipo de madera más desechado con un 56,6 % es el pino y eucalipto con un promedio por empresa de 576,2 kg/mes, en Aglomerados Cotopaxi se tiene un desecho de 2 ton/día de polvo de pino y eucalipto, se determinó que la humedad es de 6,38 %. El proceso de manufactura para trabajar con este material es la extrusión, las condiciones que debe poseer la materia prima son: El polímero reciclado debe ser homogenizado, el polvo de madera debe tener menos del 2 % de humedad. El aditivo que se utilizó como agente acoplante es el Anhídrido maleico. Los porcentajes utilizados de PEAD y polvo de madera son (50-50, 60-40 y 50-40-10) % respectivamente, en el tercer porcentaje se utilizó el agente acoplante. La temperatura de la extrusora fue de 175 y 185 °C en las zonas 1 y 2 respectivamente, Se obtuvo como resultado que mientras mayor sea el porcentaje de polvo de madera en la composición mayor será el módulo de elasticidad siempre y cuando la matriz polimérica moje por completo al material reforzante. El compuesto con mayor resistencia a la tracción es el 50-50-10 % con 11.5 MPa y módulo de elasticidad de 234 MPa según la norma ASTM D 638, el compuesto con mayor resistencia a la flexión es el 50-50 % con 15.08 MPa y módulo de elasticidad de 750.69 MPa según la norma ASTM D 1037, el hinchamiento de los tres compuestos es 0% y la absorción de agua es de 0,31% según la norma ASTM D 1037.

Palabras clave: WPC, composición, polímeros, madera, temperatura, tracción, flexión

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TOPIC: “Analysis of the composition and mechanical properties of recycled plastic wood (WPC)”**

**Author: Iza Ramírez Dennis Llancarlos**

**ABSTRACT**

The analysis of composition of WPC (Wood - Plastic Composite) material composed by recycled wood and plastic is an unknown topic by most of the industries that work manufacturing wooden facades, floors and decorations. The WPC is composed by natural fibers that serve as an alternative reinforcement for polymeric compounds. It was determined based on a sample of market research at Cotopaxi province where a high percentage of recyclers supply: The polymer matrix and the reinforcing material, the most recycled polymer with 86.6 % is the high and low Polyethylene density with an average of 2.3 ton/month, the most discarded wood with 56.6 % is pine and eucalyptus with an average per company of 576.2 kg/month, in Cotopaxi Agglomerados there is a waste of 2 ton/day of pine and eucalyptus powder, the humidity determined was 6.38 %. The manufacturing process to work with this material is extrusion, the conditions that raw material must possess are: The recycled polymer must be homogenized, the wood dust must have less than 2 % humidity. The additive that was used as a coupling agent is maleic anhydride. The percentages used of HDPE and wood dust are (50-50, 60-40 and 50-40-10) % respectively, at third percentage the coupling agent was used. The temperature of the extruder was 175 and 185 °C in zones 1 and 2 respectively. it was obtained as result that higher dust percentage on composition higher must be elasticity modulus with the condition that polymer matrix should always moisten the reinforcing material. The compound with the highest tensile strength is 50-50-10 % with 11.5 MPa and elasticity modulus of 234 MPa according to ASTM D 638, the compound with the highest strength flexural is 50-50% with 15.08 MPa and elasticity modulus of 750.69 MPa according to ASTM D 1037, the swelling of the three compounds is 0% and water absorption is 0.31% according to ASTM D 1037.

**Keywords:** WPC, composition, polymers, wood, temperature, traction, bending.



## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor: Iza Ramírez Dennis Llancarlos, egresado de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título versa "ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA (WPC)", lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, febrero 2020

Atentamente

Lcdo. MSc. Edison Marcelo Pacheco Pruna.  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C: 0502617350



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>xv</b>
<b>2</b>	<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>xviii</b>
<b>4</b>	<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>xix</b>
<b>5</b>	<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....</b>	<b>xix</b>
5.1	PROBLEMA:.....	XIX
5.2	OBJETO:.....	XIX
5.3	CAMPO DE ACCIÓN:.....	XIX
<b>6</b>	<b>OBJETIVOS:.....</b>	<b>xix</b>
	OBJETIVO GENERAL:.....	XIX
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	XX
<b>7</b>	<b>ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....</b>	<b>xx</b>
	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	XXI
<b>8</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>xxi</b>
<b>9</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA .....</b>	<b>1</b>
9.1	INTRODUCCIÓN .....	1
9.2	ANÁLISIS DE TRABAJOS PRECEDENTES .....	1
9.3	DESCRIPCIÓN DEL OBJETO.....	2
9.4	MATERIALES PARA INGENIERÍA .....	3
9.4.1	Materiales metálicos .....	3
9.4.2	Materiales poliméricos .....	3
9.4.3	Materiales cerámicos .....	3
9.4.4	Materiales compuestos .....	4
9.5	MATERIALES COMPUESTOS EN LA INGENIERÍA.....	4
9.5.1	Matriz de un material compuesto.....	4
9.5.2	Material de refuerzo.....	5
9.6	COMPUESTO DE MADERA Y PLÁSTICO (WPC).....	5
9.7	TIPOS DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES COMO MATERIAL REFORZANTE .....	6

9.8	CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS .....	8
9.9	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD .....	8
9.9.1	Contenido de humedad en el polvo de madera .....	10
9.10	SECADO DEL POLVO DE MADERA.....	10
9.10.1	Secador rotatorio.....	11
9.11	AGENTES ACOPLANTES .....	12
9.12	PRINCIPALES PROCESOS DE MANUFACTURA DE TERMOPLÁSTICOS .....	13
9.12.1	Termoformado .....	14
9.12.2	Moldeo por inyección .....	14
9.12.3	Moldeo por soplado .....	14
9.12.4	Calandrado.....	14
9.12.5	Extrusión.....	15
9.13	MÁQUINA EXTRUSORA .....	15
9.13.1	Características de un extrusor de tornillo simple .....	16
9.13.2	Zonas del husillo.....	16
<b>10</b>	<b>METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LA MADERA PLÁSTICA</b>	
	<b>RECICLADA .....</b>	<b>18</b>
10.1	INTRODUCCIÓN .....	18
10.2	DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	18
10.2.1	Estudio de mercado de la materia prima .....	18
10.2.2	Selección del polímero para la matriz del material compuesto .....	18
10.2.3	Selección del material reforzante.....	19
10.3	DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA PARA EL WPC .....	20
10.3.1	Características de la matriz polimérica .....	21
10.3.2	Características del material reforzante .....	21
10.3.3	Aditivos para la composición de la madera plástica .....	21
10.4	SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA .....	22
10.5	PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	24
10.5.1	Preparación de la matriz polimérica reciclada .....	24
10.5.2	Preparación del polvo de madera .....	25
10.6	PROCEDIMIENTO Y PARÁMETROS PARA LA EXTRUSIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	26
10.7	ENSAYO DE TRACCIÓN .....	28
10.8	ENSAYO DE FLEXIÓN .....	31
10.9	ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAMIENTO .....	34
<b>11</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN DEL</b>	
	<b>MATERIAL WPC Y SUS PROPIEDADES MECÁNICAS .....</b>	<b>36</b>

11.1	INTRODUCCIÓN .....	36
11.2	RESULTADOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL POLVO DE MADERA. ....	36
11.3	RESULTADOS DE LA EXTRUSIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	36
11.4	RESULTADO DE FUNDICIÓN DE LAS PROBETAS .....	37
11.5	SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.....	38
11.6	RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN .....	39
11.7	SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE FLEXIÓN .....	42
11.8	RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	42
11.9	RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAMIENTO.....	46
11.10	COMPARATIVA AGLOMERADO, PEAD Y WPC .....	46
11.11	RESUMEN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL WPC EN SUS TRES COMPOSICIONES.....	47
11.12	APLICACIONES SEGÚN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS .....	49
11.13	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	51
<b>12</b>	<b>IMPACTO DEL WPC .....</b>	<b>52</b>
12.1	IMPACTO TÉCNICO.....	52
12.2	IMPACTO SOCIAL .....	52
12.3	IMPACTO ECONÓMICO .....	52
12.4	IMPACTO AMBIENTAL.....	52
<b>13</b>	<b>INVERSIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>53</b>
<b>14</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
14.1	CONCLUSIONES .....	54
14.2	RECOMENDACIONES.....	55
<b>15</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>16</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	<b>Clasificación de los materiales para la ingeniería.....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2.</b>	<b>Compuesto WPC .....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 3.</b>	<b>Compuesto: Matriz y refuerzo .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 4.</b>	<b>Tablas y pellets de WPC .....</b>	<b>6</b>

<b>Figura 5.</b>	<b>Clasificación de los plásticos.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 6.</b>	<b>Tabla para determinar el contenido de humedad de los productos de madera dependiendo de la temperatura y de la humedad relativa del aire.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 7.</b>	<b>Tipos de secadores .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 8.</b>	<b>Esquema de un secador rotatorio .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 9.</b>	<b>Procesos de manufactura de termoplástico.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 10.</b>	<b>Máquina extrusora. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 11.</b>	<b>Zonas del husillo. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 12.</b>	<b>Máquina extrusora .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 13.</b>	<b>Proceso de reciclaje del plástico antes de entrar a la máquina extrusora.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 14.</b>	<b>Ensayo de tracción.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 15.</b>	<b>Diagrama esfuerzo-deformación .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 16.</b>	<b>Ensayo de flexión a) Fluxión en 3 puntos b) Deflexión <math>\delta</math> obtenida por flexión .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 17.</b>	<b>a) Material extruido con 65 % de polvo de madera del peso total. b) Material extruido con 50 % de polvo de madera del peso total.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 18.</b>	<b>Material extruido en corte transversal .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 19.</b>	<b>a) Probeta para ensayo de flexión b) Probeta para ensayo de tracción.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 20.</b>	<b>Simulación de probeta sometida a tracción .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 21.</b>	<b>Diagrama Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción P5M5.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 22.</b>	<b>Diagrama Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción P6M4.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 23.</b>	<b>Diagrama Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción P5M4A1.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 24.</b>	<b>Simulación de probeta sometida a flexión a) Compresión zona azul b) tensión zona roja.....</b>	<b>42</b>

<b>Figura 25.</b>	<b>Diagrama Esfuerzo-Deflexión P5M5 .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 26.</b>	<b>Diagrama Esfuerzo-Deflexión P6M4 .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 27.</b>	<b>Resultados de ensayos de flexión P6M4.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 28.</b>	<b>Diagrama Esfuerzo-Deflexión P5M4A1 .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 29.</b>	<b>Resultados de ensayos de flexión P5M4A1.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 30.</b>	<b>Comparación de las propiedades mecánicas en un diagrama multieje.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 31.</b>	<b>Representación de los porcentajes de la composición en un diagrama ternario .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 32.</b>	<b>Modelo para extrusión de WPC para pisos .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 33.</b>	<b>Simulación de piso de WPC en SolidWorks.....</b>	<b>50</b>

#### **ÍNDICE DE TABLAS:**

<b>Tabla 1.</b>	<b>Resistencia a la Flexión en Materiales Compuestos Madero Plásticos.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 2.</b>	<b>Resistencia a la tracción En Materiales Compuestos Madero Plásticos.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 3.</b>	<b>Propiedades Físicas y mecánicas del polietileno de alta densidad. ....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 4.</b>	<b>Temperaturas de procesamiento de los termoplásticos más comunes. ....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 5.</b>	<b>Aditivos que se utilizan para fabricar WPC .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 6.</b>	<b>Tabla de alcance para selección del polímero .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 7.</b>	<b>Valoración que obtiene cada polímero .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 8.</b>	<b>Tabla de alcance para selección del material reforzante .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 9.</b>	<b>Valoración que obtiene el tipo de partícula de madera. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 10.</b>	<b>Porcentajes del peso para la composición del WPC.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 11.</b>	<b>Características del PEAD para la composición .....</b>	<b>21</b>

<b>Tabla 12.</b>	<b>Características del polvo de madera para la composición.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 13.</b>	<b>Porcentajes de aditivos.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 14.</b>	<b>Aditivos utilizados para la composición .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 15.</b>	<b>Procesos de manufactura para producción de polímeros y sus características.</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 16.</b>	<b>Procedimiento para calcular la humedad del polvo de madera.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 17.</b>	<b>Procedimiento y parámetros para la extrusión .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 18.</b>	<b>Dimensiones de probetas para ensayo de tracción para PEAD. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 19.</b>	<b>Modelo de probeta para ensayo de tracción .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 20.</b>	<b>Fabricación de probetas para ensayo de tracción .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 21.</b>	<b>Ensayo de tracción.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 22.</b>	<b>Dimensiones de probetas para ensayo de flexión.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 23.</b>	<b>Fabricación de probetas para ensayo de flexión.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 24.</b>	<b>Ensayo de flexión .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 25.</b>	<b>Ensayo de absorción de agua e hinchamiento.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 26.</b>	<b>Resultados de ensayos de tracción P5M5 .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 27.</b>	<b>Resultados de ensayos de tracción P6M4 .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 28.</b>	<b>Resultados de ensayos de tracción P5M4A1 .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 29.</b>	<b>Resultados de ensayos de flexión P5M5.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 30.</b>	<b>Resultados de ensayo de absorción de agua .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 31.</b>	<b>Comparativa Aglomerado y WPC .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 32.</b>	<b>Propiedades mecánicas y físicas del WPC.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 33.</b>	<b>Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo .....</b>	<b>51</b>

## **1 INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

“ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA (WPC)”

**Fecha de inicio:** 26 de marzo de 2019

**Fecha de finalización:** 31 de enero de 2020

### **Lugar de ejecución:**

Ecuador, Cotopaxi-Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Facultad que auspicia:**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Proyecto de investigación vinculado:**

El uso de materiales reciclados, en la producción del Wood-Plastic composites (WPC) y la elaboración de productos para acabados de la construcción en la provincia de Cotopaxi años 2019 y 2020.

### **Equipo de trabajo:**

#### **Nombre de los tutores:**

Ing. José Efrén Barbosa Galarza M.Sc.

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera M.Sc.

#### **Nombre del estudiante:**

Dennis Llancarlos Iza Ramírez



Latacunga-Pastocalle

Teléfonos: Celular: 0998371656  
Convencional: 032 712 381  
email: dennisiza11@gmail.com

**IZA RAMÍREZ DENNIS LLANCARLOS**  
**CURRÍCULUM VITAE**

**1 DATOS DE IDENTIFICACIÓN**

- Cedula de Identidad: 0504322710
- Fecha de nacimiento: 05/01/1996
- Lugar de nacimiento: La Matriz/Latacunga/Cotopaxi
- Domicilio: Pastocalle Centro
- Lugar de trabajo: Escuela de conducción "San Juan De Pastocalle"
- Cargo de desempeño actual: Operador Psicosenométrico
- Estado civil: Soltero
- Nacionalidad: Ecuatoriana
- Edad: 23

**2 HABILIDADES PERSONALES**

- Instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales.
- Instalación y operación de equipos eléctricos, mecánicos y electromecánicos.
- Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos industriales.
- Uso y manejo de equipos de medición y evaluaciones psicosenométricas ADS Plus.

**3 INSTRUCCIÓN FORMAL**

- 2001-2006 Unidad Educativa "Nueva Vida" Educación Primaria (1ro-5to).
- 2006-2007 Unidad Educativa "República De Argentina" Educación Primaria (6to).
- 2007-2008 Escuela Fiscal "Manuel Matheu" Educación Primaria (7mo).
- 2008-2014 Colegio Técnico "Ramón Barba Naranjo" *Bachiller Técnico / Mecánica Automotriz.*
- 2014-2019 Universidad Técnica De Cotopaxi *Técnico Superior/ Ingeniería Electromecánica (Egresado y en curso)*
- 2016 Escuela de capacitación de conductores profesionales del sindicato parroquial de San Juan De Pastocalle/ Licencia Profesional Tipo "C"

**4 EXPERIENCIA LABORAL**

- 2017-2018 Operador Psicosenométrico Escuela de conducción San Juan de Pastocalle

**5 SOFTWARE**


- Autocad
- Inventor
- Arduino
- Word
- Excel
- Tia Portal
- LOGO Siemens
- ADS Plus

**6 CAPACITACIÓN RECIBIDA**

- SEMINARIO INTERNACIONAL DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA. 40 H.
- EQUIPO DE MEDICIÓN Y EVALUACIONES PSICOSENSOMETRICAS ADS PLUS. 40 H.
- CURSO DE AUTOCAD-INTERNET-MANTENIMIENTO 100 H.

**7 REFERENCIAS PERSONALES**

- Lcda. Gladys Iza. Docente Colegio Nacional Cutuglagua / 023111652
- Mgs. Mauro Albarracín. Director de la carrera de electromecánica UTC / 0984597473
- Ing. Luis Iza. Director de la escuela de conducción San Juan De Pastocalle/ 0992748794

  
DENNIS LLANCARLOS IZA RAMÍREZ  
CI: 0504322710

**Área de Conocimiento:**

Propiedades mecánicas, procesos de fabricación de materiales compuestos.

**Línea de investigación:**

Procesos industriales

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos prototipos y sistemas electromecánicos.

**2 RESUMEN**

El análisis de la composición del material WPC (Wood – Plastic Composite) compuesto de madera y plástico reciclados es un tema desconocido por la mayoría de industrias que trabajan fabricando fachadas, pisos y decoraciones de madera. El WPC está compuesto por fibras naturales que sirven como refuerzo alternativo para compuestos poliméricos. Se determinó en base a una muestra de estudio de mercado en la provincia de Cotopaxi en donde un alto porcentaje de recicladoras abastecen: La matriz polimérica y el material reforzante, el polímero más reciclado con un 86,6 % es el Polietileno de alta y baja densidad con un promedio de 2,3 ton/mes, el tipo de madera más desechado con un 56,6 % es el pino y eucalipto con un promedio por empresa de 576,2 kg/mes, en Aglomerados Cotopaxi se tiene un desecho de 2 ton/día de polvo de pino y eucalipto, se determinó que la humedad es de 6,38 %. El proceso de manufactura para trabajar con este material es la extrusión, las condiciones que debe poseer la materia prima son: El polímero reciclado debe ser homogenizado, el polvo de madera debe tener menos del 2 % de humedad. El aditivo que se utilizó como agente acoplante es el Anhídrido maleico. Los porcentajes utilizados de PEAD y polvo de madera son (50-50, 60-40 y 50-40-10) % respectivamente, en el tercer porcentaje se utilizó el agente acoplante. La temperatura de la extrusora fue de 175 y 185 °C en las zonas 1 y 2 respectivamente, Se obtuvo como resultado que mientras mayor sea el porcentaje de polvo de madera en la composición mayor será el módulo de elasticidad siempre y cuando la matriz polimérica moje por completo al material reforzante. El compuesto con mayor resistencia a la tracción es el 50-50-10 % con 11.5 MPa y módulo de elasticidad de 234 MPa según la norma ASTM D 638, el compuesto con mayor resistencia a la flexión es el 50-50 % con 15.08 MPa y módulo de elasticidad de 750.69 MPa según la norma ASTM D 1037, el hinchamiento de los tres compuestos es 0% y la absorción de agua es de 0,31% según la norma ASTM D 1037.

### **3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

#### **¿Por qué se hace la investigación?**

Inexistencia de las condiciones que debe tener la materia prima antes de la extrusión y caracterización de las propiedades mecánicas de la madera plástica reciclada.

#### **¿Cuáles serán sus aportes?**

Este proyecto está enfocado en la utilización de los materiales reciclados, plástico y polvo de madera, creando un material denominado compuesto de madera y plástico (WPC). Se realizará una investigación donde se detallará, el tipo de materia prima, los aditivos, una receta apropiada, el método de manufactura de extrusión para la composición del material, las probetas, y las diferentes pruebas de resistencia que debe cumplir este material de acuerdo a las normas establecidas, permitiendo obtener un WPC con características competitivas con la madera convirtiéndose en una mejor opción como material de construcción por sus propiedades mecánicas, el cual puede ser fabricado con materia prima reciclada.

#### **¿A quiénes pudiera beneficiar?**

El proyecto de investigación tiene como beneficiarios a la comunidad académica que estudia materiales compuestos, emprendedores de estratos bajos que en la actualidad se dedican al reciclaje de plástico, permitiéndoles con una pequeña inversión en extrusores, vender productos con un valor agregado.

#### **¿Cuál es el impacto y relevancia?**

El proyecto de investigación tiene un impacto positivo en lo económico, social y ambiental. Económico porque a partir de plástico y madera reciclada se obtiene un producto cuyas características físico mecánicas pueden competir con la madera. Social por que las personas que en la actualidad se dedican al reciclaje de plástico y obtienen una ganancia ínfima fruto de esta actividad, con la elaboración de WPC sus ingresos van a ser mucho mayores. Ambiental por que se promueve el reciclaje, evitando que toneladas de plástico sean arrojados a botaderos de basura que en su gran mayoría constituyen crematorios a cielo abierto con una contaminación de NOx (NO óxido nítrico y el NO2 dióxido de nitrógeno) significativa.

## **4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

### **Beneficiarios directos:**

El proyecto de investigación tiene como beneficiarios directos a la comunidad académica al estudiar nuevos materiales compuestas, procesos de manufactura y su posible comercialización.

### **Beneficiarios indirectos:**

El proyecto de investigación tiene como beneficiarios al sector de producción madereros que se dedican a la construcción de inmuebles y empresas recicladoras, ya que se aumentará la demanda de reciclaje, generando una nueva propuesta tecnológica para producir un material con características competitivas a la madera.

## **5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:**

El problema tiene origen en el desconocimiento del material WPC y la inexistencia de un consenso acerca de los métodos de manufactura y condiciones ideales que debe cumplir el material celulósico para que su efecto reforzante sea el mejor, debido a la cantidad de variables o características inherentes como especie vegetal, composición química, tamaño de partícula, morfología, tratamiento superficial y concentración de la mezcla.

### **5.1 Problema:**

Inexistencia de un proceso para la determinación de las propiedades idóneas que debe poseer la materia prima con la que se realizará el WPC (madera plástica reciclada).

### **5.2 Objeto:**

Madera plástica reciclada (WPC)

### **5.3 Campo de acción:**

Materiales compuestos.

## **6 OBJETIVOS:**

### **Objetivo General:**

Definir la composición y propiedades mecánicas del material WPC obtenido mediante el proceso de extrusión.

### Objetivos Específicos:

- Identificar la materia prima para la fabricación de WPC.
- Definir las variables que determinan el proceso de extrusión en la fabricación de WPC.
- Caracterizar las propiedades físicas (absorción de agua) y mecánicas (resistencia a la tracción y flexión) del material WPC.

## 7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

OBJETIVOS.	ACTIVIDAD	RESULTADO	MEDIO DE VERIFICACION.
Identificar la materia prima para la fabricación de WPC.	1 Encuestas, entrevistas y visitas de los sitios de abastecimiento de la materia prima.	Identificación de la materia prima disponible.	Encuestas, grabaciones, informes de entrevista.
	2. Levantamiento de información de todos los lugares de abastecimiento de plástico y madera.	Análisis estadístico de empresas de reciclaje y residuos de madera.	Informes de levantamiento de información de las empresas.
	3. Caracterización cuantitativa y cualitativa de materiales reciclables de plástico y madera.	Calidad de materia prima plástica y madera recicladas.	Informe de caracterización de la materia prima.
Definir las variables que determinan el proceso de extrusión en la fabricación de WPC.	1. Visitas técnicas y entrevista a empresas y personal de fabricación de plásticos y WPC mediante el proceso de extrusión.	Identificación de las variables como: Temperatura, polímero y polvo de madera.	Grabaciones, informes, fotos sobre los procesos.
	2. Revisión de artículos científicos y normas ligadas a la fabricación de WPC.	Condiciones ideales que debe tener la materia prima antes de entrar en proceso.	Informe de caracterización que debe tener la materia prima.
	3. Experimentación con diferentes porcentajes de matriz polimérica, material reforzante y aditivos.	Definición de las cantidades necesarias para obtener el mejor compuesto.	Material extruido.
Caracterizar las propiedades físicas (absorción de agua) y mecánicas (resistencia a la tracción y flexión) del material WPC.	1. Recopilación de información de normas de propiedades físicas y mecánicas de WPC.	Propiedades y valores normalizados de WPC o materiales similares.	Normas, informes técnicos, entrevistas y grabaciones.
	2. Fabricación de probetas para realizar ensayos físicos y mecánicos.	Probetas.	Informe de ensayo físicos y mecánicos.
	3. Correlación de materiales y procesos de fabricación.	Definición de porcentajes y procesos de fabricación de WPC.	Informe de correlación de materiales.

## Matriz de operacionalización de variables

Variable Dependiente	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
WPC Madera plástica reciclada	Material compuesto	MPa	¿Cuál es la resistencia mecánica que tiene el material?	Normas y ensayos de resistencia de materiales	Máquina universal de ensayos

Variable Independiente	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Polímero	Materia prima	%	¿Cuál es el porcentaje del peso total que debe tener el polímero?	Experimental y medición	Balanza
Polvo de madera	Materia prima	%	¿Cuál es el porcentaje del peso total que debe tener el polvo de madera?	Experimental y medición	Balanza
Acoplantes, lubricantes, retardantes, estabilizadores	Aditivos	%	¿Cuál es el porcentaje que deben tener los aditivos?	Experimental y medición	Balanza
Temperatura	Máquina	Grados Celsius	¿Cuál es la temperatura a la que se procesa la composición?	Experimental y medición	Controlador de temperatura

## 8 HIPÓTESIS

La variación de los elementos que componen el WPC (Plástico + polvo de madera + aditivo) en el proceso de extrusión, mejoran las propiedades mecánicas.

## **9 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICAS DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA**

### **9.1 Introducción**

Existen diversos materiales que intervienen en los procesos de ingeniería y se debe analizar en profundidad los materiales compuestos, se revisó algunos trabajos precedentes referentes al tema y se habla sobre la matriz y el material reforzante que componen un material compuesto, así como la materia prima, y el proceso de manufactura con el que se trabaja para producir el WPC.

### **9.2 Análisis de trabajos precedentes**

Delgado en 2014 realizó la mezcla de fibra de Retamo Liso con una matriz polimérica formada por: polietileno de baja densidad (LDPE) y poliestireno de alto impacto (HIPS) en relación 70:30 respectivamente. La fibra natural fue sometida a reducción de tamaño entre 1700 y 850  $\mu\text{m}$ ; el contenido de humedad fue 0,17%. Se evaluó el efecto del agente entrecruzante peróxido de dicumilo (DCP) en compuestos con varios porcentajes de fibra: 0; 10; 25; 50 %. La adición de DCP en los compuestos, mejora significativamente las propiedades de tensión con respecto a similares concentraciones de fibra; sin embargo, esta diferencia en los valores de las propiedades disminuye progresivamente cuando la cantidad de fibra se aproxima a 50 %. El aumento en la concentración de fibra afecta negativamente las propiedades de tensión, con excepción del Módulo de Elasticidad y la Resistencia a la Fluencia [1].

Martikkas en 2018 realiza un estudio donde explica que millones de toneladas de plásticos se producen y consumen anualmente y deben reciclarse de manera sostenible. Los efectos de diferentes compatibilizadores sobre las propiedades de los compuestos de polímeros de residuos mezclados con madera se estudian para promover el reciclaje de plásticos y para determinar el potencial del uso de plásticos de residuos en materiales compuestos. Las propiedades estudiadas son la microestructura, las propiedades de tracción y flexión, la resistencia al impacto y la absorción de agua y la hinchazón del espesor en inmersión. Los resultados muestran que la adición de los compatibilizadores seleccionados mejoró notablemente las propiedades de los compuestos de polímeros de residuos mezclados con madera: todas las propiedades mecánicas estudiadas y la resistencia a la humedad se mejoraron en un 50% o más [2].

Gueo en 2019 determina el rendimiento térmico de los compuestos de madera y plástico (WPC) con diferentes fibras, y diferentes lubricantes, muestran resultados de la temperatura de degradación térmica, la temperatura de fusión, la temperatura de cristalización, la cristalinidad

y la viscosidad de los WPC con fibra de madera fueron ligeramente más altos que los de los WPC con polvo para lijado de pisos y cáscara de arroz. A medida que aumentaba el contenido de fibra de madera, la temperatura de fusión y la cristalinidad de los WPC disminuían, mientras que la temperatura de cristalización, la viscosidad y la pseudoplasticidad aumentaban. Cuando se aumentó el contenido de fibra de madera al 60%. Los WPC tenían un pequeño coeficiente de expansión térmica lineal a baja temperatura y demostraron una buena estabilidad dimensional. La presencia de lubricante redujo la viscosidad y aumentó la pseudoplasticidad de los WPC, lo que es ventajoso para la estabilidad dimensional de los WPC a baja temperatura mientras que lo hace peor para altas temperaturas [3].

Los trabajos precedentes demuestran que la adición de polvo de madera aumenta significativamente el módulo de elasticidad y la resistencia a la fluencia pudiendo aumentar hasta un 50% de los valores iniciales, al tener un 60% de contenido de fibras de madera se tiene un bajo coeficiente de expansión térmica a baja temperatura con una buena estabilidad dimensional, pero aumenta la viscosidad y la pseudoplasticidad. Esto se puede contrarrestar con presencia de lubricantes.

### **9.3 Descripción del objeto**

La madera plástica reciclada (Wood Plastic Composite - WPC) hace referencia a cualquier compuesto que contenga fibras de madera y plásticos termoestables o termoplásticos. [4] para lo cual se reporta: 30 - 70% en fibra, 30 - 55% en material polimérico y 0.15 - 15% en aditivos. Las propiedades de este tipo de compuestos están determinadas por un gran número de factores, tales como tipos y cantidad de fibra, tamaño de partículas, tipo de polímero, aditivos, y el proceso de fabricación utilizado [5]. Un artículo técnico científico sobre compuestos termoplásticos de madera indica que los estudios de mercado realizados en los EE.UU. y Europa muestra que sustituir la madera convencional por madera plástica es una alternativa viable y que se puede reutilizar con numerosas ventajas [6].

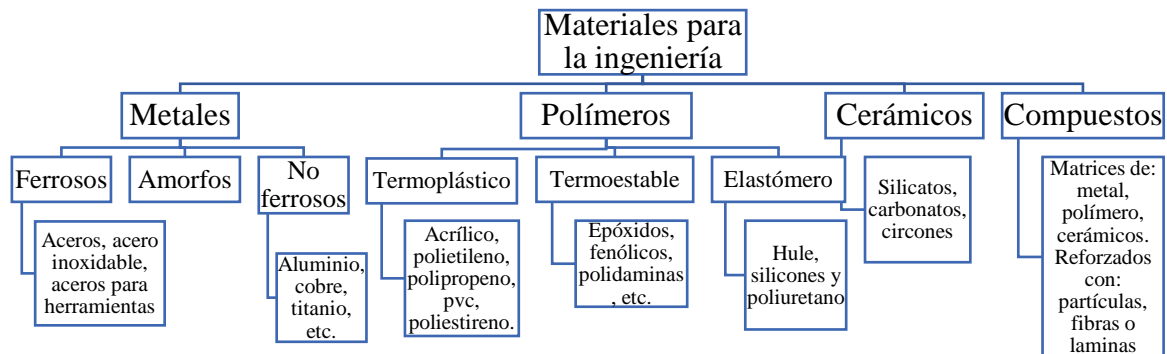
- Mayor resistencia a la humedad y deterioro ambiental;
- Resistencia a plagas e insectos;
- Pueden ser extrudido en perfiles con formatos diversificados;
- Presentan una mejor estabilidad dimensional;
- Resistencia a las grietas;
- Poseen menor costo de mantenimiento de rutina;
- Mayor durabilidad en ambientes agresivos como marinas y piscinas;

- Son totalmente reciclables e imitan en aspecto la madera;
- Dispensan el uso de protección superficial como pinturas y barnices.

#### 9.4 Materiales para ingeniería

Los materiales son muy esenciales para el desarrollo de la ingeniería y el uso inteligente de la combinación de materiales conlleva a tener mejores características de los ya planteados. Por ello es vital que el ingeniero profesional conozca cómo se seleccionan los materiales y sepa cuál se ajusta a las demandas del diseño, demandas económicas y estéticas, así como de resistencia y durabilidad. El diseñador debe comprender las propiedades de los materiales y sus limitaciones. Los materiales se clasifican en:

**Figura 1.** Clasificación de los materiales para la ingeniería



Fuente: [7]

##### 9.4.1 Materiales metálicos

Están conformados por enlaces metálicos teniendo una estructura cristalina, se clasifican en ferrosos, no ferrosos y amorfos y generalmente tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica.

##### 9.4.2 Materiales poliméricos

Son moléculas de cadena larga formadas por muchos monómeros unidos entre sí, están conformados por enlaces covalentes con una estructura amorfa, son buenos aislantes térmicos y eléctricos y se clasifican en: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

##### 9.4.3 Materiales cerámicos

Son compuestos químicos o soluciones complejas que contienen elementos metálicos y no metálicos, así siempre son más estables químicamente que los metales, poseen enlaces iónicos y covalentes teniendo una dureza muy alta pero poca tenacidad y la mayoría son buenos aislantes térmicos y eléctricos.

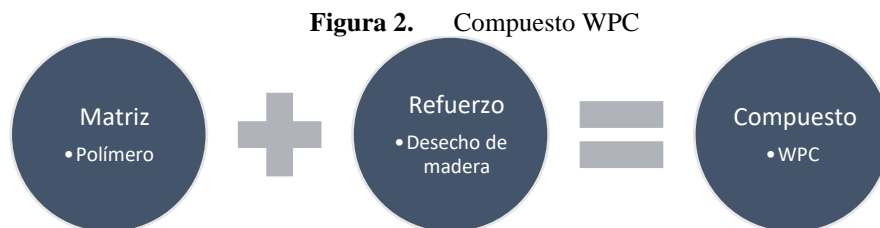
#### 9.4.4 Materiales compuestos

Son aquellos compuestos que se forman por la unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

#### 9.5 Materiales compuestos en la ingeniería.

Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una interfase discreta y reconocible que los separa. Debido a ello, son heterogéneos (sus propiedades no son las mismas en todo su volumen). Si bien algunos materiales compuestos son naturales (como la madera o el hueso), la gran mayoría de los materiales compuestos utilizados en la actualidad son diseñados y fabricados por el hombre [8].

Se entiende por materiales compuestos aquellos formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos. En todo material compuesto se distinguen dos componentes: La matriz, componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante y el refuerzo, en fase discontinua, que es el elemento resistente.



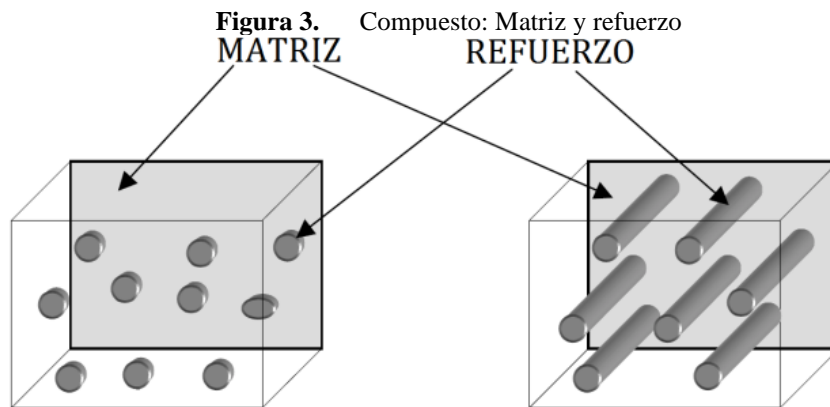
Fuente: El autor

##### 9.5.1 Matriz de un material compuesto

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda “empotrado”, en general, la matriz no es tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo [8]. En este caso la matriz para la composición del material WPC es la matriz polimérica, del tipo termoplástico. Los polímeros termoplásticos son aquellos que se reblandecen y pueden fluir cuando son calentados. Estos materiales se endurecen al enfriarse y retiene la forma impuesta a temperaturas elevadas. Este ciclo de calentamiento y enfriamiento puede repetirse varias veces si el polímero es formulado apropiadamente con estabilizadores térmicos. En cuanto a la matriz polimérica, el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) es el termoplástico que mejores resultados obtiene en la formación de madera plástica. Se trata del plástico más común en nuestra vida diaria, el más fácil de reciclar y con buenas propiedades mecánicas. La matriz polimérica en la composición de madera plástica presenta mayor resistencia al clima, humedad, acción de microorganismos y termitas [9].

### 9.5.2 Material de refuerzo

Es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión. Representa la mayor proporción en la mezcla del compuesto final. De esta forma, se mantienen las características propias de la madera, pero mejoradas añadiendo polímeros y agentes acoplantes. Las fibras de madera o polvo de madera, por lo tanto, presentan un elevado porcentaje de celulosa mezclada junto con extractos madereros, hemicelulosa y lignina. Cada uno de ellos aporta unas características al compuesto final. Por ejemplo, un mayor porcentaje de celulosa se traduce en la reducción del coeficiente de expansión-contracción térmico y el aumento de la rigidez. En cualquier caso, lo idóneo es escoger fibras de madera procedente de especies con bajo porcentaje de lignina que debilita la estructura conformacional del compuesto. La madera plástica, en muchas ocasiones, está formada por fibras de madera tradicional procedente del reciclaje. Cuanto mayor es la longitud de las fibras mejores propiedades de contracción-expansión térmica va a presentar el compuesto final [10].



Fuente: [10]

### 9.6 Compuesto de madera y plástico (WPC)

Los materiales compuestos de madera y plástico son materiales formados básicamente de dos fases, una plástica denominada matriz y otra de refuerzo o relleno constituida de fibra o polvo de madera. Los WPC son un subconjunto de una categoría más amplia de materiales llamados compuestos plásticos de fibras naturales (NFPC: natural fiber plastic composite), que pueden contener también rellenos a base de fibras, tales como fibras de celulosa, cáscara de maní, bambú, paja, etc. Este material se puede realizar mediante el proceso de extrusión [11].

La temperatura de degradación de la madera (entre 220 y 240 °C) constituye un factor limitante en el proceso excepto cuando los tiempos de residencia son mínimos. Una exposición de la madera por encima de estas temperaturas, produce decoloración, malos olores, gases volátiles y fragilidad en los materiales compuestos. Además de las propiedades intrínsecas de los componentes del sistema, el desempeño de los WPC depende también de los procesos de manufactura. Existen procesos en los que son utilizados equipos en el que la fibra de madera es secada hasta niveles inferiores al 1% de humedad. Una mezcla polímero-madera y aditivos es preparada en mezcladores intensivos antes de ser alimentada en el extrusor, para finalmente obtener perfiles o pellets del material compuesto. Según un estudio de mercado realizado por AMI Consulting y presentado en el congreso AMI Wood Plastic Composites, los crecimientos anuales hasta 2016 fueron del 23%. Los mayores aumentos se producirán en aplicaciones relacionadas con la construcción y los acabados interiores. Los perfiles decking para pisos seguirán siendo en el mercado internacional la aplicación más extendida del WPC [11]. Al producto terminado es factible de aplicar recubrimientos como pintura, yeso, polvo mineral, retardante a la flama, etc. Todos los productos a partir del tablero plástico serán ensamblados tal como se usa la madera natural [12].

**Figura 4.** Tablas y pellets de WPC



Fuente: [12]

### **9.7 Tipos de materiales compuestos con fibras naturales como material reforzante**

Las siguientes tablas presentan los diferentes tipos de compuestos con fibras naturales como material reforzante y su matriz polimérica en donde se expresa el módulo y resistencia a la flexión y tracción de cada una de las composiciones realizadas por [4].

**Tabla 1.** Resistencia a la Flexión en Materiales Compuestos Madero Plásticos

MATRIZ	REFUERZO	R. FLEXION MV <sup>(E)</sup> [MPa]	R. FLEXION Bio <sup>(F)</sup> [MPa]	CONTENICO DE FIBRA (%)	TAMAÑO DE PARTICULA (µm)	AA <sup>(d)</sup> (%)
PEAD <sup>(A)</sup> VIRGEN	-Aserrín del duramen de cedro blanco. -Aserrín de albura de cedro blanco. -Aserrín de pino.	17,5	31 32 40	35	300-425	
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Tallos de maíz -Tallos de semilla oleaginosa -Tallo de caña	-	30 33 31	45	1010 1310 980	2
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	Pino de scots en descomposición	-	28,6	30	150-450	3
POLIESTER VIERGEN	-Bagazo de caña	27,3	26,4	5	500-1000	-
PEAD <sup>(A)</sup> VIRGEN	-Pulpa de celulosa -Madera de álamo -Madera de abedul -Madera de abeto -Corteza de álamo -Corteza de abeto	19,9	55,7 52 49,2 46,9 32,9 33,7	40	150-710	3
PP <sup>(B)</sup> RECICLADO PEAD <sup>(A)</sup> RECICLADO PP <sup>(B)</sup> +PEAD <sup>(A)</sup> RECICLADO	-Tetera	8,3 2,1 4,1	7,6 2,2 3,1	2 3	1000-3000	-
PEAD <sup>(A)</sup> VIRGEN	-Borra de algodón -Tallos y rebabas residuales de desmontadora de algodón -Bagazo de guayule -Planta de guayule	15,12	8,34 11,82 12,46 11,69	50	250-850	-
PVC <sup>(C)</sup> VIRGEN	-Cascarilla de arroz	49	57	60	45	-
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Hojas de palma de aceite	-	50 40	10 -	- 425	-
PP <sup>(A)</sup> RECICLADO	-Harina de madera de pino de california	58	65	50		1
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Harina de cedro	31	45	20	150	1,6
PEAD <sup>(A)</sup> VIRGEN	-Fibras de madera de maple	-	54,8	50	75-150	1

Fuente: [4]

**Tabla 2.** Resistencia a la tracción En Materiales Compuestos Madero Plásticos.

MATRIZ	REFUERZO	R. TRACCION MV <sup>(E)</sup> [MPa]	R. TRACCION Bio <sup>(F)</sup> [MPa]	CONTENICO DE FIBRA (%)	TAMAÑO DE PARTICULA (µm)	AA <sup>(d)</sup> (%)
PEAD <sup>(A)</sup> VIRGEN	-Aserrín del duramen de cedro blanco. -Aserrín de albura de cedro blanco. -Aserrín de Pino Banks -Aserrín de Picea negra. -Corte de corteza de Pino Banks	17	24,5 24 29 30 22	35	300-425	-
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Pino de Scots en descomposición	-	28,6	30	150-450	3
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Serrín de hueso de aceituna	-	AUMENTA	40	-	5
PEAD <sup>(A)</sup> VIRGEN	Pulpa de celulosa Madera de álamo Madera de abedul Madera de abeto Corteza de álamo Corteza de abeto	21,6	42,9 38,9 32 31,8 22,5 23	40	150-710	3
PVC <sup>(C)</sup> VIRGEN	-Cascarilla de arroz	32	44,7	60	45	-
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Hojas de palma de aceite	-	13	-	75	-
PP <sup>(B)</sup> RECICLADO	-Harina de madera de pino de california	27,5	22	50	149	1
PP <sup>(B)</sup> VIRGEN	-Harina de cedro	27	32,5	20	-	1,6

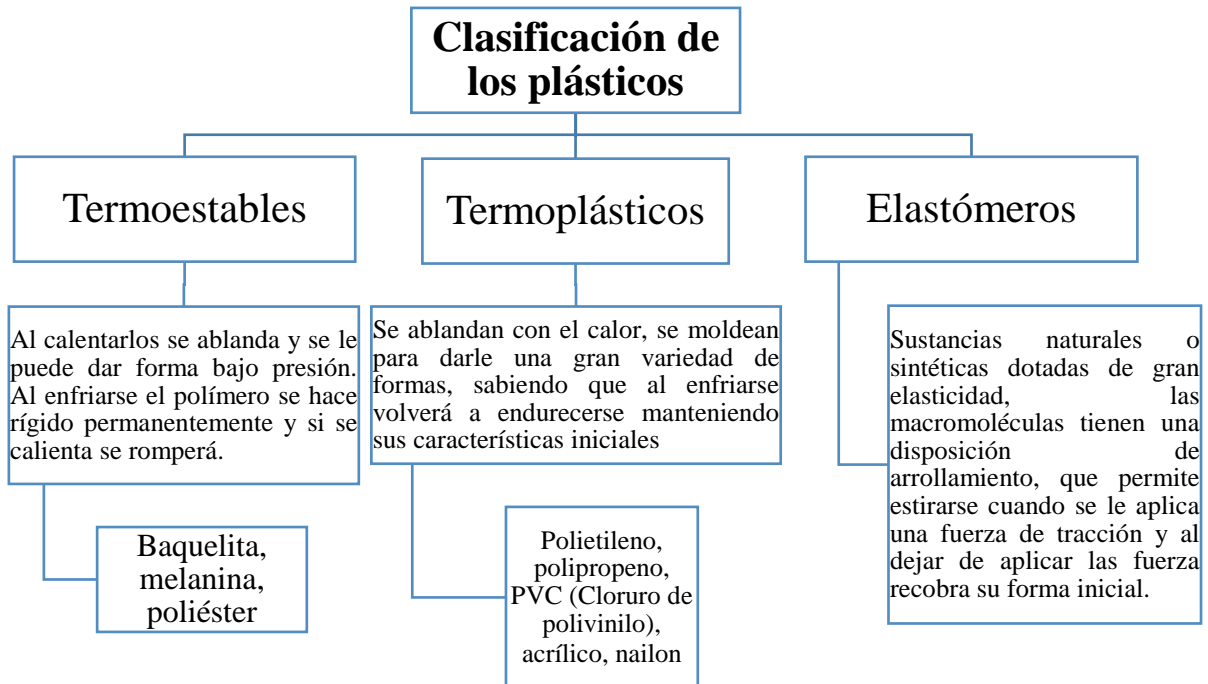
Fuente: [4]

**Descripción:** <sup>(A)</sup> Polietileno de Alta Densidad, <sup>(B)</sup> Polipropileno, <sup>(C)</sup> Policloruro de Vinilo, <sup>(D)</sup> Agente Acoplante, <sup>(E)</sup> Resistencia a la Flexión en Matriz Virgen, <sup>(F)</sup> Resistencia a la Flexión en Materiales Compuestos Madero Plásticos.

## 9.8 Clasificación de los plásticos

Los materiales plásticos se clasifican en termoestables, termoplásticos y elastómeros:

**Figura 5.** Clasificación de los plásticos



Fuente: [13]

Los WPC se fabrican con termoplásticos y tienen algunas variaciones en su matriz polimérica pudiendo utilizar cualquier termoplástico mencionado en la anterior figura.

## 9.9 Polietileno de alta densidad

El polímero más conveniente para realizar esta mezcla es el polietileno de alta densidad, El polietileno es químicamente el polímero más simple. Se trata de un plástico barato que puede modelarse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas. Su resistencia al impacto es bastante alta y se mantiene a temperaturas bajas. Baja densidad con respecto a metales u otros materiales. Impermeable y de baja reactividad [14].







**Tabla 3.** Propiedades Físicas y mecánicas del polietileno de alta densidad.

Propiedades Físicas	
Absorción de agua en 24h (%)	<0,01
Propiedades Mecánicas	
Módulo de elasticidad E(N/mm <sup>2</sup> )	1000
Coefficiente de fricción	0,29
Módulo de tracción (GPa)	0,5
Relación de Poisson	0,46
Resistencia a tracción (MPa)	15
Esfuerzo de rotura(N/mm <sup>2</sup> )	20
Elongación a ruptura (%)	12
Propiedades Térmicas	
Calor específico (JK <sup>-1</sup> , Kg <sup>-1</sup> )	1900
Coefficiente de expansión (x 10 <sup>6</sup> K <sup>-1</sup> )	100-200
Conductividad térmica a 23 °C (W/mK)	0,45-0,52
Temperatura Máxima de utilización (°C)	55-120
Temperatura de reblandecimiento (°C)	140
Temperatura de cristalización (°C)	130-135
Rango de temperatura °C	-100 hasta +80

Fuente: [15]

Se debe conocer todos los tipos de plásticos que existen y sus temperaturas de procesamiento para poder determinar si están dentro del rango de temperatura de degradación de la madera.

**Tabla 4.** Temperaturas de procesamiento de los termoplásticos más comunes.

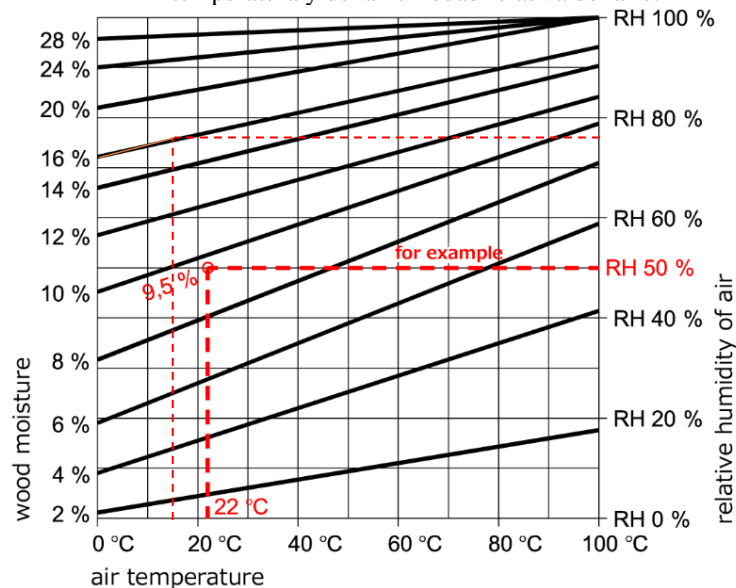
Plástico	Simbología	Abreviatura	Temperatura de procesamiento (°C)
Politereftalato de polietileno		PET	250-260
Polietileno de alta densidad		PEAD	130
Policloruro de vinilo		PVC	75-90
Polietileno de baja densidad		PEBD	110
Polipropileno		PP	160-170
Poliestireno		PS	70-115

Fuente: [16]

### 9.9.1 Contenido de humedad en el polvo de madera

La madera es un material higroscópico, lo que significa que es un material que absorbe agua, el contenido de humedad de la madera representa la relación entre la masa de agua que contiene y la masa de madera sin agua. A medida que la madera se seca, mejoran sus propiedades de resistencia. Por ejemplo, la resistencia de la madera a la compresión y a la flexión se duplica a medida que la madera se seca un 12-15 % desde su punto más fresco. En un uso normal, el contenido de humedad de la madera oscila entre el 8 % y el 25 % según su peso, dependiendo de la humedad relativa del aire [17].

**Figura 6.** Tabla para determinar el contenido de humedad de los productos de madera dependiendo de la temperatura y de la humedad relativa del aire.



Fuente: [17]

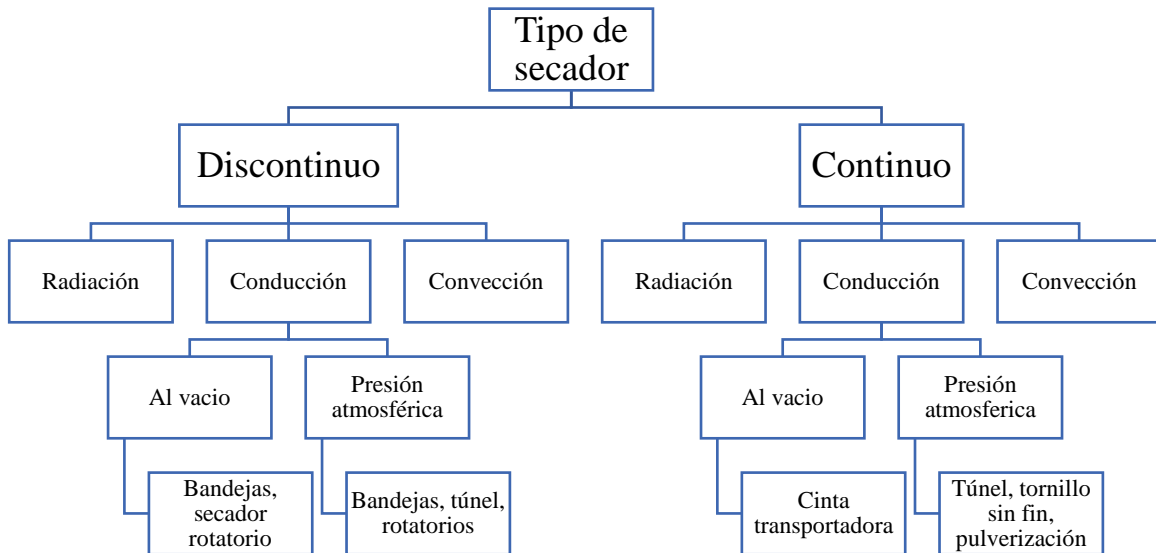
En la figura 6 se observa la tabla para determinar la humedad de la madera según la temperatura y humedad relativa, la temperatura promedio en Latacunga es de 14.7 °C y una humedad relativa de 76 % [18], por lo que resulta una humedad del 16% en las distintas clases de madera superando el 2% por lo que se debe realizar el proceso de determinación del contenido de humedad y secado del material ya que la temperatura y humedad varía mucho y el cuadro anterior solo sirve para tener una referencia.

### 9.10 Secado del polvo de madera

Para el proceso de secado del polvo de madera se debe tener en cuenta la humedad que posee, para que sea de calidad la unión con la matriz polimérica, el objetivo esencial de un proceso de secado es la eliminación de un líquido que se separa del sólido al convertirse en vapor por el

calor entregado al sistema, la transferencia de calor se produce por conducción o convección y en algunos casos por radiación. A continuación, se muestran los tipos de secadores.

**Figura 7.** Tipos de secadores



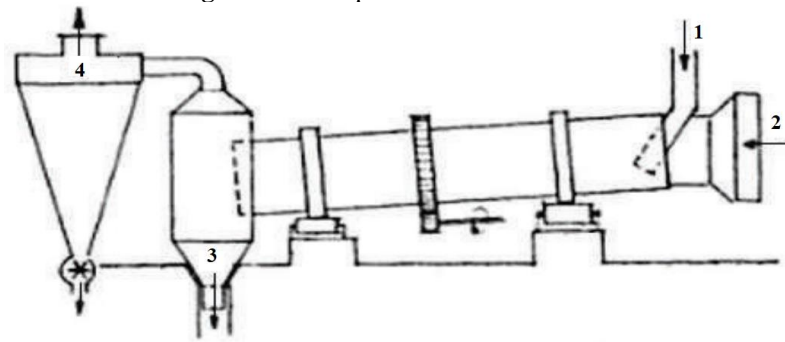
Fuente: [19]

Los secadores continuos realizan la operación sin interrupciones, en los discontinuos se opera por lotes. Los secadores que exponen los sólidos a un gas caliente se llaman secadores directos o adiabáticos (Método más frecuente), aquellos en los que el calor es transferido desde un medio externo reciben el nombre de secadores indirectos (de conducción o contacto) o no adiabáticos. Algunas unidades combinan el secado adiabático y no adiabático, y se denominan secadores directos-indirectos.

Al trabajar con partículas muy pequeñas se debe tener en cuenta el peligro que existe, ya que se pueden encender o inflamar, tomando en cuenta esto, el proceso más utilizado para el secado de partículas finas es el tipo continuo por conducción [19].

### 9.10.1 Secador rotatorio

El secador rotatorio es utilizado para un secado continuo de productos granulares que puedan fluir, es un cuerpo cilíndrico ligeramente inclinado que desplaza el material por su propio peso, el tambor gira continuamente y el material va moviéndose hacia la salida del tubo.

**Figura 8.** Esquema de un secador rotatorio

Fuente: [19]

**Descripción:** 1 Ingreso de materia prima, 2 aire caliente, 3 materia seca y 4 salida de aire húmedo.

### 9.11 Agentes acoplantes

Los aditivos más frecuentes son los lubricantes, retardadores del fuego, productos que mejoran la unión madera-plástico, estabilizadores de rayos ultravioleta, pigmentos, etc. Se sabe que es un problema al preparar el material compuesto la interacción matriz-refuerzo que pueda existir en la región interfacial ya que esto tiene una gran influencia en las propiedades mecánicas finales del material. De manera que se puede decir que mientras se tenga unión entre la partícula y matriz, mayor serán las propiedades mecánicas. Existen también factores a considerar como la madera, el tamaño de partícula, el método de obtención, etc.

El uso de agentes compatibilizantes debe seguir algunos criterios básicos para promover una mejor adhesión interfacial entre el refuerzo celulósico y la matriz polimérica [13]. La empresa Du Pont proporciona información sobre aditivos que se utilizan para la producción del WPC donde especifica que los agentes acoplantes representan desde un 2% hasta 3% de la composición aditivos como MAH-g-polyolefin que se trata de poliolefinas a las que se les ha injertado ácido maleico que se utilizan para compatibilizar cargas con la matriz, también se tiene lubricantes que representan desde un 2% hasta 3% de la composición: EBS que es un lubricante compuesto blanco de cera de alta calidad y alto punto de fusión, también utiliza estearato de zinc y ceras de parafina. Existen también otros aditivos que representan desde un 0.1% a 2% de la composición como: retardantes de llama, antioxidantes, estabilizadores UV y antimicrobianos [20] [21].

**Tabla 5.** Aditivos que se utilizan para fabricar WPC

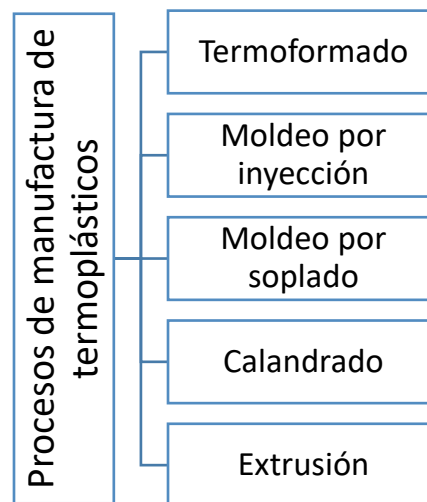
Aditivos	Tipos	Características
Agentes acoplantes	Poliiolefinas injertadas maléicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilizan mezclas de polímeros</li> </ul>
	Anhídrido maleico (E / MAH).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilizan mezclas de polímeros</li> </ul>
	Monoéster de ácido maleico o (E / MAME)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilizan mezclas de polímeros</li> </ul>
	BONDYRAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agentes de acoplamiento para PP, PE, WPC y compuestos para LGT</li> </ul>
Lubricantes	EBS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora el flujo</li> <li>• Mejora la dispersión</li> <li>• Reducción de las temperaturas y presiones de procesamiento</li> <li>• Desgaste reducido en equipos de procesamiento.</li> <li>• Liberación de molde mejorada</li> <li>• Propiedades mecánicas optimizadas.</li> <li>• Acabado superficial superior</li> <li>• Absorción de agua reducida</li> </ul>
	Estearato de Zinc Datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acelerar la plastificación y reducir la viscosidad del fundido.</li> <li>• Reducir la torsión y el consumo de energía.</li> <li>• Incrementar la interacción de la interfaz de polímeros y rellenos;</li> <li>• Mejora de la liberación de moldes durante la extrusión de los barriles y la matriz.</li> <li>• Reducir la fricción y el desgaste, alargando la vida útil de la máquina</li> </ul>
Retardantes de llama	VEMAB® FR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masterbatches retardantes de llama para moldeo por inyección y productos de extrusión de PP, PE, PS y ABS</li> </ul>
Estabilizadores UV	VEMAB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorbente UV HALS para la protección del polímero y el contenido de embalaje de plástico de la foto-degradación química, fragilización y pérdida de calidad</li> </ul>

Fuente: El autor

### 9.12 Principales procesos de manufactura de termoplásticos

Existen varios procesos de manufactura que aplican las grandes industrias para procesar sus termoplástico y según las propiedades mecánicas y térmica del polímero, sus necesidades y las características que va a tener el producto final se clasifican en cinco procesos de manufactura: Extrusión, moldeo por inyección, moldeo por soplado, calandrado y termoformado. El proceso de manufactura para materiales compuestos en la extrusión.

**Figura 9.** Procesos de manufactura de termoplástico.



Fuente: [8]

### 9.12.1 Termoformado

En el termoformado una lámina de plástico es calentada hasta ablandarse. Por medio de presión externa o vacío, la lámina es estirada y conformada adhiriéndola a un molde para que tome la forma de éste y luego es enfriada en el molde.

### 9.12.2 Moldeo por inyección

Es uno de los procesos más comunes para la manufactura de artículos plásticos. El material es alimentado a una máquina llamada inyectora, la cual lo plastifica y luego lo inyecta mediante el desplazamiento positivo de un tornillo, en una cavidad cerrada llamada molde. El artículo plástico se solidifica en el molde y luego es retirado.

### 9.12.3 Moldeo por soplado

Es el medio de producir objetos huecos con una sola apertura de menor tamaño que el diámetro mayor del objeto, como por ejemplo botellas, en la mayoría de los casos se fabrica primero un tubo sellado, por un lado, que es luego soplado dentro de un molde con la forma del objeto que se desea obtener. Si el tubo, llamado también "parison", es fabricado por extrusión el proceso se denomina soplado por extrusión o extrusión-soplado. Si en vez de extruir un tubo se inyecta un preformado en forma de un tubo de ensayo, y luego se calienta, estira, y sopla, este proceso se denomina soplado por inyección.

### 9.12.4 Calandrado

Este proceso es empleado cuando se desea fabricar films y láminas de plástico. Se hace pasar la materia prima a través de una combinación de rodillos calientes. Usualmente se emplean

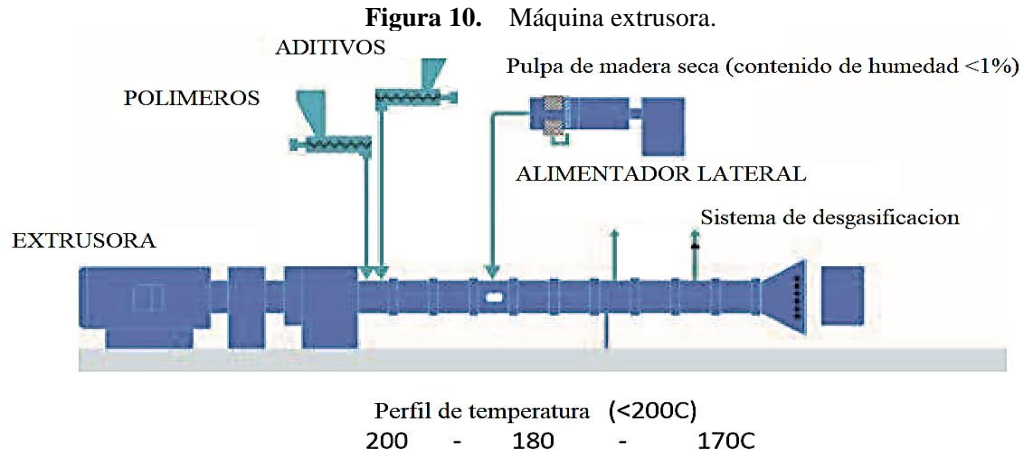
combinaciones de cuatro rodillos con tres pasos de material. La mayor aplicación del calandrado se encuentra en la producción de films y láminas de PVC.

#### **9.12.5 Extrusión**

Este es un proceso continuo para la fabricación de materiales de sección constante tales como: tubos, perfiles, films, planchas, etc. El material es forzado mediante un tornillo giratorio a través de una apertura de forma específica (dado o cabezal) que guarda alguna relación con la forma del producto que se desea obtener. En la extrusión convencional (con plastificación del material) el material ingresa a la extrusora en el estado sólido (gránulos, polvo), luego es plastificado, y finalmente es dosificado de manera constante hacia el dado de extrusión. Dependiendo del producto, diferentes operaciones son realizadas luego que el preformado sale del dado.

#### **9.13 Máquina Extrusora**

La operación o procedimiento de extrusión es la acción de forzar el paso de un plástico o material fundido, por medio de presión, a través de un “dado” o “boquilla”. El procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales como el aluminio, que fluyen plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En el procedimiento original para someter los polímeros a extrusión, se utilizaron máquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se utilizan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido o gomoso a lo largo de la camisa de la máquina. También se utilizan los extrusores de tornillos gemelos cuando se necesita una mezcla o las condiciones de transporte del material fundido son más exigentes. El aparato está constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la máquina el polímero se funde y homogeniza [22].



Fuente: [20]

### 9.13.1 Características de un extrusor de tornillo simple

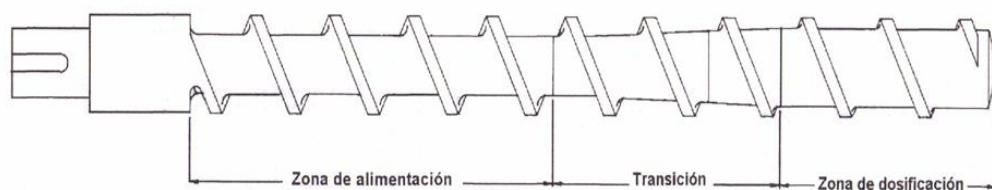
El tornillo de un extrusor tiene uno o dos “hilos” en espiral a lo largo de su eje. El diámetro hasta la parte externa del hilo es el mismo en toda la longitud para permitir el ajuste preciso en una camisa cilíndrica, con un espacio apenas suficiente para dejarlo rotar. La “raíz” o el núcleo es el diámetro variable de manera que el canal en la espiral es la profundidad. En general, la profundidad del canal corresponde desde el extremo de alimentación hasta el extremo del dado, aunque existen modificaciones con fines especiales. Una consecuencia de que disminuya la profundidad del canal es el incremento de la presión a lo largo del extrusor y esta es la que impulsa el material fundido a pasar a través del dado [22].

### 9.13.2 Zonas del husillo

La máquina extrusora tiene como característica principal la fabricación de productos donde en su interior solo se funde el material y es en el dado donde se da la forma final sacando provecho de esto se puede tener varios moldes para la creación de infinidad de productos.

La máquina extrusora tiene como elemento mecánico principal el husillo en cual ejerce una presión dentro de la camisa cilíndrica para que el material se funda ayudado por calentadores.

**Figura 11.** Zonas del husillo.



Fuente: [12]

En el husillo están definidas tres zonas con diferentes funciones:

- **Zona de alimentación.** Es la zona del extremo posterior del husillo junto a la tolva. Es por donde el material en forma de granza se calienta hasta su temperatura de fusión y lo transporta hasta la siguiente sección.
- **Zona de compresión.** Zona donde se produce una disminución del volumen en el interior del filete provocando la compresión del material. Esto provoca calor por fricción y cizalla, ayudando en la fusión del material y a través de esta zona de compresión, el aire que hay entre la granza es desplazado hacia la zona anterior de alimentación.
- **Zona de dosificación.** Zona donde se produce la mezcla y homogeneización final de la masa fundida consiguiendo un caudal uniforme y adecuado a la salida del cilindro [12].

## **10 METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LA MADERA PLÁSTICA RECICLADA**

### **10.1 Introducción**

El objetivo de la investigación fue determinar la materia prima que se va a utilizar, el posible proceso de manufactura y evaluar las propiedades de la madera plástica elaborada a partir de residuos madereros del pino y eucalipto ya que son los más utilizados y termoplásticos reciclados (polietileno de alta densidad), aditivos químicos (carbonato de calcio, anhídrido maleico y protector UV). Los porcentajes que conforman la composición se muestran en la tabla 10. Las probetas se realizaron con dimensiones normalizadas y procesados mediante extrusión, peletización y fundición en moldes. Las propiedades físicas y mecánicas se evaluarán mediante ensayos de tracción, flexión basándose en la norma ASTM D7031 - 11 (Guía estándar para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los productos compuestos de madera y plástico).

### **10.2 Determinación de la materia prima.**

#### **10.2.1 Estudio de mercado de la materia prima**

Para determinar los lugares o empresas donde se puede obtener la materia prima, precios y cantidad, se realizaron tres tipos de encuestas con ayuda de docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi permitiendo determinar: datos en referencia al aserrín, plástico y comercialización de WPC. El modelo de encuestas se puede ver en los anexos 1, 2, 3, y los resultados en el anexo 4.

#### **10.2.2 Selección del polímero para la matriz del material compuesto.**

Para la selección de polímero se basó en el tipo de material plástico reciclado más común que se puede encontrar en la ciudad de Latacunga y según el estudio de mercado realizado (anexo 4), los galones de aceite, botellas de bebidas y fundas plásticas son los más reciclados. Las empresas los clasifican en plásticos de alta densidad y baja densidad resumiéndose en polietileno de alta densidad PEAD y polietileno de baja densidad PEBD, facilitando el proceso de clasificación para la selección del material.

Se realizó la selección del polímero en base a la temperatura de procesamiento de WPC.

**Tabla 6.** Tabla de alcance para selección del polímero

Variable	Buena	Media	Mala
Temperatura de extrusión	175-195 °C	<175 °C	> 195 °C

Fuente: El Autor

**Descripción:** La tabla de alcance para la selección del polímero se realizó en base a las temperaturas de procesamiento para producción de WPC donde si la temperatura es menor a 175 °C el índice de fluidez baja y se sobrecarga al motor, si se aumenta la temperatura el índice de fluidez aumenta, teniendo una temperatura limitante de 195 °C ya que al superar esta temperatura, el material reforzante comienza a tomar un color negro y se carboniza [23].

**Tabla 7.** Valoración que obtiene cada polímero

Polímero	Temperatura de extrusión °C	Alcance
PEAD	180	Buena
PEBD	140	Media

Fuente: Dennis Iza

El PEAD en comparación con el PEBD, es el plástico más común y se puede encontrar en cualquier recicladora, sus propiedades son buenas como temperatura de procesamiento de 180 °C, temperatura óptima para procesos de extrusión de WPC, resistencia a la tracción de 40 MPa y su precio de 0.10 Usd/kg.

### 10.2.3 Selección del material reforzante.

El tipo de madera que más se trabaja y se desecha es el eucalipto y pino según los resultados de las encuestas (anexo 4), a estos desechos no se los puede clasificar o separar por tipo de madera, pero si se puede por tamaño de partícula.

La temperatura de degradación de la madera es a los 210 °C [9] por lo que no se debe superar esta temperatura, otro aspecto a tomar en cuenta es la humedad ya que si no se realiza un proceso de secado se genera vapor dentro del cilindro, produciendo burbujas de aire y que no exista una compactación en la extrusión del material.

**Tabla 8.** Tabla de alcance para selección del material reforzante

Variabes	Buena	Media	Mala
Humedad	≤ 10%	> 11% y < 20%	> 21%

Fuente: Dennis Iza

**Descripción:** La tabla de alcance para la selección del material reforzante se realizó en base a un estudio sobre la pirolisis del aserrín donde se determina el contenido de humedad que contiene cada tamaño de partícula.

**Tabla 9.** Valoración que obtiene el tipo de partícula de madera.

Tipo de desecho	Tamaño	Humedad %	Alcance
Polvo	(>750 $\mu$ m)	2-10	Buena
Aserrín	(750 $\mu$ m - 10mm)	10-20	Media
Viruta	(<10mm)	20-40	Mala

Fuente: Dennis Iza

Se seleccionó el polvo de madera ya que contiene un valor de humedad que varía de 2 % al 10 % en condiciones ambientales normales, estos contenidos de humedad pueden variar mucho por la naturaleza hidrofílica de las fibras dependiendo donde se almacenan y si están expuestas a la lluvia. Si el contenido de humedad es bajo se disminuye el tiempo de secado ya que se requiere una humedad menor al 2 %. Otro aspecto que se tomó en cuenta para la selección del material reforzante es el desecho de polvo de madera que existe en la empresa Aglomerados Cotopaxi siendo de 2 ton/día, con un tamaño de partícula menor a 750  $\mu$ m.

### 10.3 Determinación de la mezcla para el WPC

La determinación de los porcentajes para mezcla se basó en investigación bibliográfica y experimental, por lo que se procede a extraer 3 tipos de composiciones (tabla 10) y después determinar sus propiedades mecánicas. Para determinar que los porcentajes están bien aplicados hay que tomar en cuenta que la matriz polimérica debe mojar por completo al material reforzante y lograr la homogenización del WPC.

**Tabla 10.** Porcentajes del peso para la composición del WPC

Materia prima	Polímero	Polvo de madera	Aditivos
P5M5	50 %	50 %	-
P6M4	60 %	40 %	-
P5M4A1	50 %	40 %	10 %

Fuente: El Autor

### 10.3.1 Características de la matriz polimérica

Tabla 11. Características del PEAD para la composición

Polímero	Virgen o reciclado	Temperatura de fusión	Temperatura de extrusión	Temperatura de descomposición
Polietileno de alta densidad (PEAD)	Reciclado	135 °C	180 °C	290 °C

Fuente: El Autor

Los polímeros deben tener un bajo punto de fusión con el fin de poder fundirse y evitar la degradación térmica de la madera durante su fabricación. La temperatura de comienzo de degradación de las fibras es de 200 a 210 °C.

### 10.3.2 Características del material reforzante

Tabla 12. Características del polvo de madera para la composición.

Residuo	Tipo de materia prima	Humedad	Tamaño $\mu\text{m}$	Temperatura de degradación
Pino y eucalipto	Polvo	< 2 %	< 750	200 °C

Fuente: El Autor

El tamaño de la fibra debe ser de menor a 710  $\mu\text{m}$  esto mejora el módulo de elasticidad (resistencia mecánica) de un material WPC [10]. Al trabajar a altas temperaturas se evapora la humedad de la fibra por ese motivo el contenido de humedad del polvo de madera debe ser menor al 2 %, si es mayor se produce gases y porosidad dentro del compuesto.

### 10.3.3 Aditivos para la composición de la madera plástica




Los aditivos se utilizan para mejorar las propiedades del producto final, las fibras tienen dominios cristalinos cuya resistencia mecánica puede ser tan grande como la del acero, pero estas propiedades no pueden trasladarse al compuesto polimérico si no existe una interacción o adhesión fuerte entre los componentes, en este caso se utilizará anhídrido maleico como compatibilizador de cargas, carbonato de calcio para mejorar la homogenización y protector UV para que la radiación UV no degrade el material.

**Tabla 13.** Porcentajes de aditivos

<b>Aditivo</b>	<b>Porcentaje del peso total de aditivos</b>	
<b>Anhídrido maleico</b>	P5M4A1	4%
<b>Carbonato de calcio</b>		3%
<b>Protector UV</b>		3%

Fuente: El autor

**Tabla 14.** Aditivos utilizados para la composición

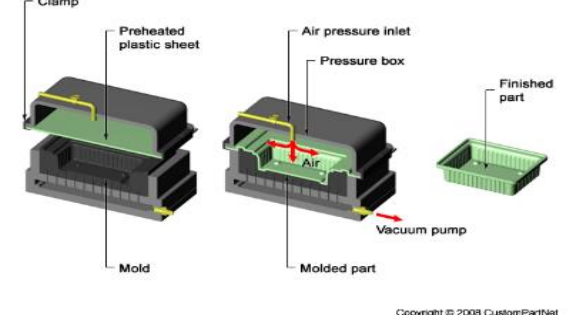
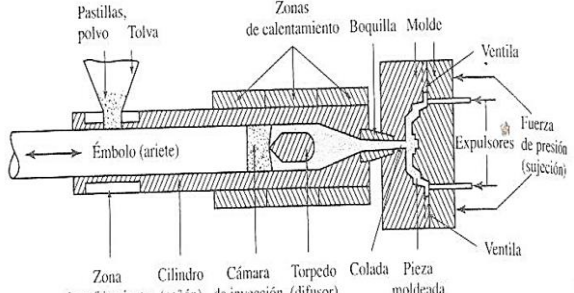
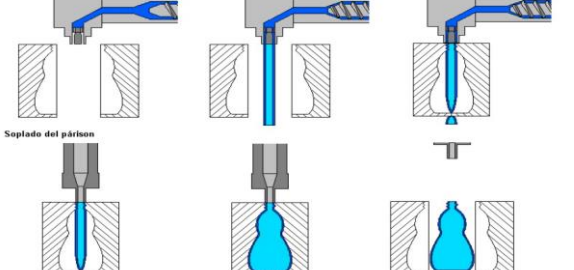
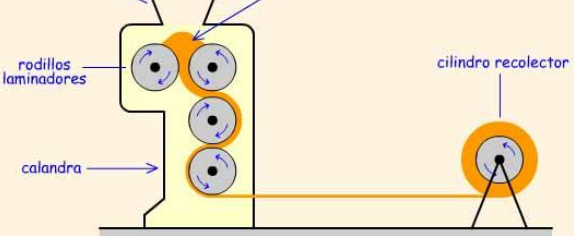
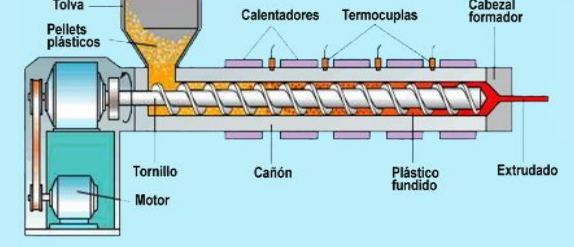
<b>Aditivos</b>		
<b>Anhídrido maleico</b>		
<b>Carbonato de calcio</b>		
<b>Protector UV</b>		

Fuente: El autor

#### 10.4 Selección del proceso de manufactura

Existen algunos procesos de manufactura en la industria para tratamiento de plásticos teniendo cada una sus ventajas y desventajas, ya que se seleccionan en base al producto final, para llevar a cabo la experimentación se realizó una selección cualitativa del proceso y máquina para producción de compuestos de polímero y fibras naturales.

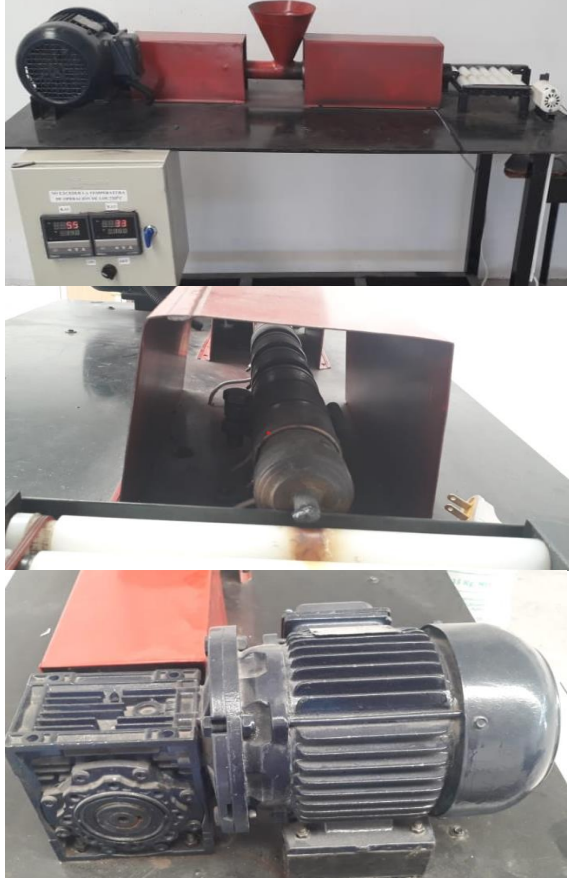
**Tabla 15.** Procesos de manufactura para producción de polímeros y sus características

Proceso de manufactura	Características	Máquina
Termoformado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se utiliza láminas de polímero.</li> <li>-Se da la forma por moldes.</li> <li>-Se utiliza para dar formas huecas.</li> <li>-Material más utilizado es PP (Polipropeno).</li> </ul>	 <p>Copyright © 2008 CustomPartNet</p>
Moldeo por inyección	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temperaturas elevadas.</li> <li>-Inyección en un molde cerrado y frío.</li> <li>-Costo elevado de los moldes.</li> <li>-No procesa materiales compuestos con fibra naturales.</li> </ul>	
Moldeo por soplado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayormente utilizado para fabricación de botellas.</li> <li>-El plástico se funde y se extruye en un tubo el cual se cierra por la parte inferior de forma hermética.</li> <li>-Se utiliza presión de aire para expandir el plástico.</li> </ul>	
Calandrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se utiliza para fabricar films y láminas de plástico.</li> <li>-La materia prima pasa por una serie de rodillos.</li> <li>-En su mayoría se utiliza en PVC.</li> </ul>	
Extrusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se utiliza para realizar compuestos con fibras naturales.</li> <li>-Se puede fabricar tubos, perfiles, films, planchas.</li> <li>-El material es forzado a través de un tornillo giratorio.</li> <li>-Temperatura de proceso varía entre 170 y 190 °C</li> </ul>	

Fuente: El autor

La extrusión es el método de manufactura más utilizado para producir materiales compuestos por lo que se utilizó una máquina extrusora de un tornillo con dos zonas de control de temperatura y velocidad del tornillo de 80 rev/min.

**Figura 12.** Máquina extrusora

Tipo de máquina	Características	
Extrusor de tornillo simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor EBERLE 220V, 0,75 kW, 1160 rev/min.</li> <li>• Reductor 20:1.</li> <li>• Controlador de temperatura en 2 zonas.</li> <li>• 6 resistencias.</li> </ul>	

Fuente: El autor

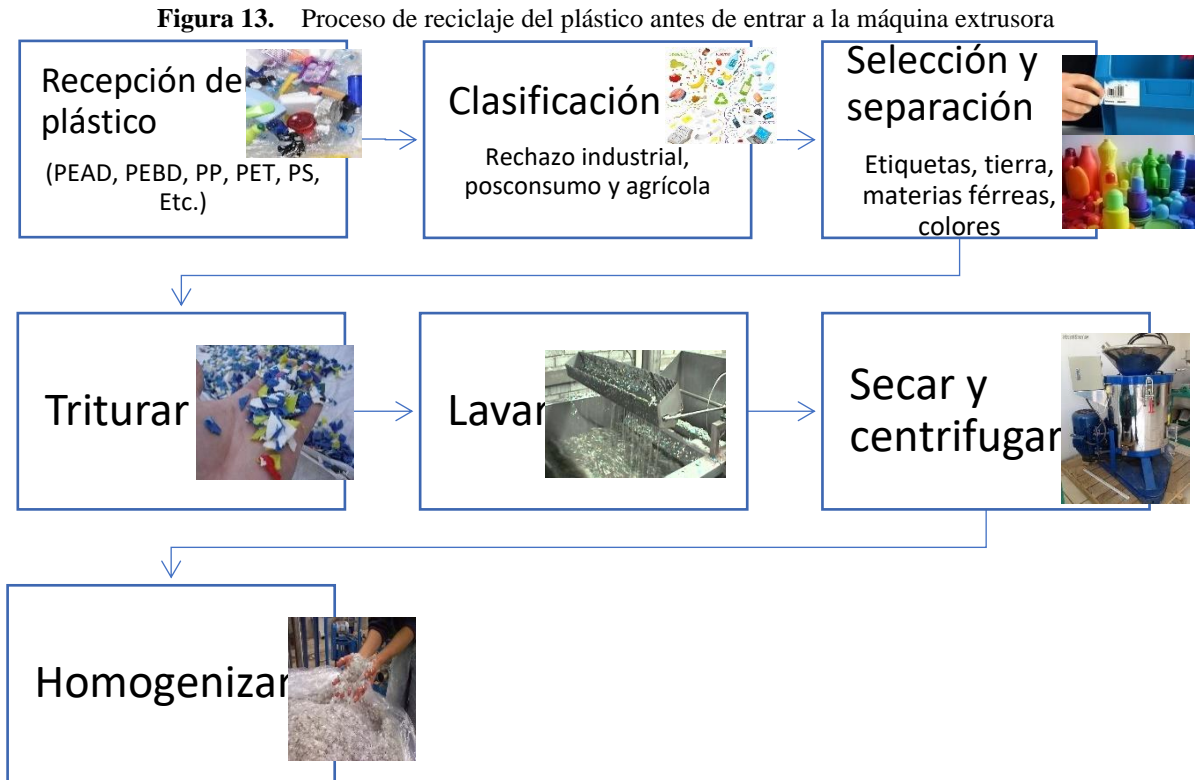
## 10.5 Preparación de la materia prima

La materia prima debe poseer condiciones físicas antes de entrar a la máquina extrusora, ya que no es un proceso simple o libre de complicaciones, teniendo que cumplir algunos requisitos el polímero reciclado y el polvo de madera reciclado para poder aprovechar completamente las cargas celulósicas y no tener ciertas complicaciones que se explicaran más adelante al momento de fabricar el material compuesto.

### 10.5.1 Preparación de la matriz polimérica reciclada

Por materia prima se entiende que es todo aquel material plástico susceptible de ser reciclado (PEAD, PEBD, PP, PET, PS, Etc.) y debe ser clasificado principalmente en rechazo industrial, posconsumo y agrícola para después seleccionar y separar los plásticos no aptos por su tipología (etiquetas, tierra, materias férricas) y por colores para disminuir el consumo de colorantes.

Cuando se tiene el material clasificado se procede a triturar, lavar, secar, centrifugar y homogenizar. Por último, se procede a pesar el porcentaje que se va a utilizar para la mezcla.







Fuente: El autor

### 10.5.2 Preparación del polvo de madera

El polvo de madera es proporcionado por la empresa Aglomerados Cotopaxi resultado de procesos de lijado de tableros de aglomerado y MDF hechos de pino y eucalipto dejando como desechos 2 ton/día. El polvo de madera debe contener menos del 2 % de humedad. Se procedió a calcular la humedad basándose en la norma ASTM D-4442, donde se tomó 50 g de muestra y se procede a secar mediante un horno a  $103 \pm 3$  °C por un periodo de 24 horas.

**Tabla 16.** Procedimiento para calcular la humedad del polvo de madera

<b>Procedimiento para calcular de la humedad del polvo de madera</b>		
<b>Norma</b>	ASTM D-4442	
<b>Materiales:</b>	<b>Características:</b>	
Horno	UMCO, 1000 W, 120 V ~, 60 Hz	
Balanza digital	EXCELL, BH3, 5 V	
<b>Procedimiento:</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Imágenes de procedimiento</b>
1. Pesar el recipiente.	178	
2. Pesar la muestra de polvo de madera con el recipiente.	228	
3. Poner en el horno a 103 °C.	-	
4. Volver a pesar después de 24 h de haber dejado secar en el horno.	225	





Fuente: El autor

### 10.6 Procedimiento y parámetros para la extrusión del material compuesto.

La extrusión es un procedimiento térmico en el que se debe tomar en cuenta algunos parámetros como la temperatura y velocidad de husillo. Antes de meter los respectivos porcentajes de la materia prima a la extrusora, se debe verificar que la máquina tenga un pre calentamiento del cilindro (en este caso 30 min) y así entre en función el tornillo, caso contrario si entra en función sin tener un precalentamiento, el tornillo se puede romper por ejercer movimiento sobre el polímero solidificado que está dentro del cilindro. Otro aspecto a tomar en cuenta, es no trabajar con el cilindro vacío, siempre debe estar dosificado con polímero para evitar posibles desgastes del tornillo o cilindro.

Después de haber cumplido estas condiciones se procede a regular la temperatura al valor necesario para la extrusión en cada una de las zonas que se pueda controlar la temperatura, en este caso la máquina tiene 2 zonas en donde se reguló la temperatura a 178 °C en la zona 1 y 184 °C en la zona 2, la velocidad del tornillo es de 80 rev/min. Posterior a esto se procede a dosificar la tolva de la extrusora con los respectivos porcentajes de la materia prima previamente mezclados.

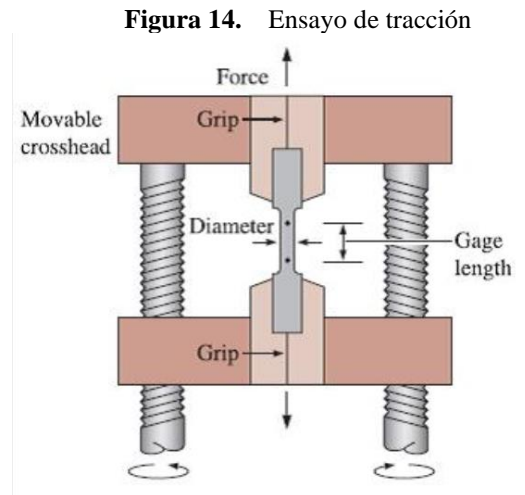
**Tabla 17.** Procedimiento y parámetros para la extrusión

Procedimiento y parámetros para la extrusión.	
Norma:	No aplica
Máquina:	Extrusora de tornillo simple 120 V ~, 60 Hz
Temperatura:	Zona 1 a 178 °C, Zona 2 a 182 °C
Velocidad:	80 rev/min.
Procedimiento:	Imágenes del procedimiento
1. Parametrizar temperaturas.	
2. Ingreso del material mezclado a la tolva.	
3. Salida del material extruido.	
4. Material extruido.	

Fuente: El autor

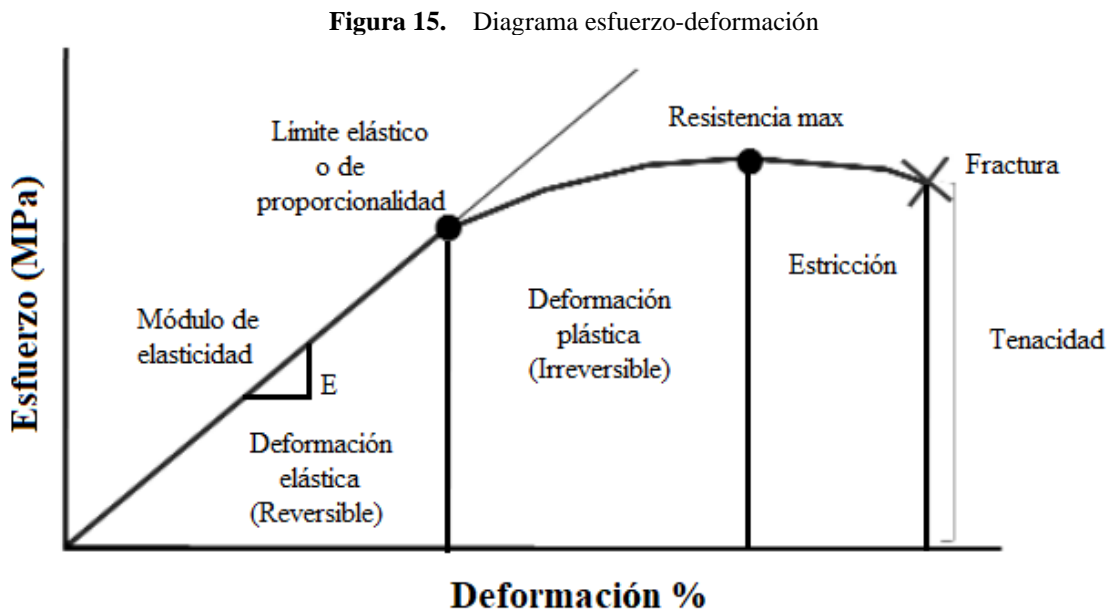
## 10.7 Ensayo de tracción

Ensayo estático que consiste en aplicar a la probeta, en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, generalmente hasta la rotura, con el fin de determinar una o más de sus características mecánicas.



Fuente: [24]

Cuando se hace un ensayo de tensión entre los datos que se anotan están los de carga o fuerza, en función del cambio de longitud. Ese cambio de longitud se mide con una galga extensométrica. A continuación, esos datos se convierten en esfuerzo y deformación unitaria.



Fuente: [24]

Para determinar las propiedades mecánicas se realizó el ensayo de tracción en la Escuela Politécnica Nacional en el CIAP (Centro de investigación aplicado a polímeros), para ensayar

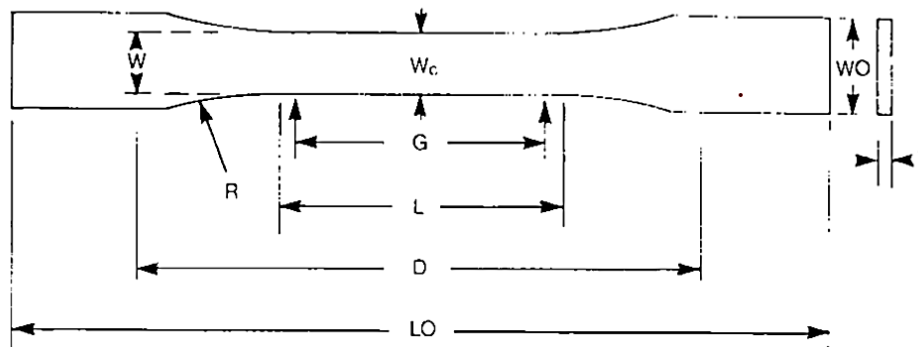
el material compuesto se debió fabricar las probetas con las dimensiones de la norma ASTM D 638.

**Tabla 18.** Dimensiones de probetas para ensayo de tracción para PEAD.

Resistencia a la tracción							
W ± 0.5mm	L ± 0.5mm	WO + 6.4mm	LO mm	G ± 0.25mm	D ± 5mm	R ± 1mm	T ± 1mm
Ancho de la sección estrecha	Longitud de la sección estrecha	Ancho total	Longitud total	Longitud calibrada	Distancia entre agarres	Radio	Espesor
6	57	19	183	50	135	76	3.2

Fuente: [25]







**Tabla 19.** Modelo de probeta para ensayo de tracción



Fuente: [25]

**Tabla 20.** Fabricación de probetas para ensayo de tracción




Fabricación de probetas para ensayo de Tracción	
<b>Norma:</b>	No aplica
<b>Materiales</b>	<b>Características</b>
Molde de acero	Acero A36
Prensa	Longitud 100 mm
Horno	Indurama 150 °C-250 °C
<b>Procedimiento:</b>	<b>Imágenes del procedimiento</b>
1. Se construyó un molde de acero desmontable con las dimensiones de la probeta. (Anexo 15 plano numero 1).	<p>La imagen muestra un molde de acero desmontable, que consiste en una pieza principal con un canal en su interior y una tapa superior que se fija con tornillos. Este molde se utiliza para moldear las probetas de PEAD.</p>

2. Peletizar el material extruido.	
3. Se introduce el material paletizado en el molde de acero para fundirlo. Se determinó que 80 g del material paletizado se obtiene el espesor de la probeta.	
4. La tapa del molde debe encajar perfectamente y se debe prensar para después meter en el horno a 190 °C durante 30 minutos, durante este periodo de tiempo se sigue ajustando las prensas hasta que el material se compacte completamente aplicando una fuerza de 50 N/m con un torquímetro en cada prensa.	
5. Se enfría y se desmonta el molde para cortar las piezas a las dimensiones que requiere la probeta.	
6. Se cortó a laser para tener probetas con dimensiones exactas.	
7. Probetas	

Fuente: El Autor

Tabla 21. Ensayo de tracción

Ensayo de tracción	
<b>Norma</b>	ASTM D 638
<b>Acondicionamiento:</b>	Condiciones ambientales apropiadas para el uso final previsto del producto.
<b>Máquina de ensayos:</b>	INSTRON
<b>Dimensiones de probeta</b>	W Ancho de sección estrecha= 6 mm L Longitud de la sección estrecha= 57 mm WO Ancho total, min. = 19 mm LO Longitud total, min. = 183 mm G Longitud calibrada= 50 mm D Distancia entre mordazas= 135 mm

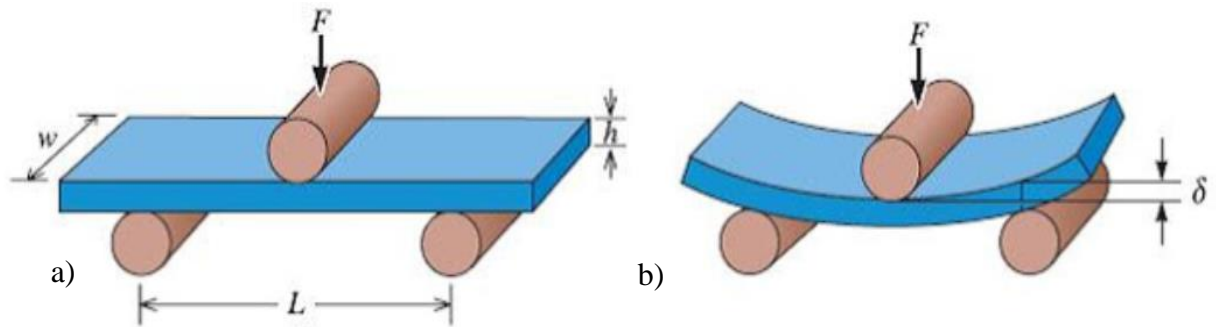
	R Radio = 76 mm
<b>Numero de probetas</b>	5 para cada muestra
<b>Diagrama de carga</b>	
<b>Parámetros</b>	Según la norma ASTM D 638 la velocidad de avance del actuador: 5 mm/min
<b>Ejecución</b>	
<b>Fractura</b>	

Fuente: El Autor

### 10.8 Ensayo de flexión

El objetivo de un ensayo de flexión es observar el comportamiento y la deformación de un material al aplicarse una fuerza transversal, este ensayo se basa en la aplicación de una fuerza al centro de una barra soportada en cada extremo, para determinar la resistencia del material hacia una carga estática.

**Figura 16.** Ensayo de flexión a) Flexión en 3 puntos b) Deflexión  $\delta$  obtenida por flexión



Fuente: [24]

En este ensayo se puede determinar la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad o módulo de Young.

$$\sigma_{flexión} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot w \cdot h^2} \quad (1)$$

Donde:

$\sigma_{flexión}$  es la resistencia a la flexión; (MPa).

F es la carga de fractura; (N).

L es la distancia entre los dos puntos de apoyo (mm).

w es el ancho el espécimen; (mm).

h es la altura del espécimen; (mm).

$$E_{flexión} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Donde:

$E_{flexión}$  es módulo de flexión; (MPa).

$\sigma$  es esfuerzo; (MPa).

$\varepsilon$  es deformación (mm/mm).

Los ensayos de flexión se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa Aglomerados Cotopaxi con ayuda de los técnicos, en donde se utiliza la norma ASTM D 1037 para obtener las dimensiones de las probetas.


**Tabla 22.** Dimensiones de probetas para ensayo de flexión

<b>Resistencia a la flexión</b>				
Espesor $\pm 0.25\text{mm}$	Ancho $\pm 1\text{mm}$	Largo $\pm 1\text{mm}$	Luz $\pm 1\text{mm}$	Velocidad de avance (mm/min)
5,5	50	160	110	2.2
9	50	230	180	3.6
12	50	290	240	4.8
15	50	350	300	6.9
18	50	410	360	7.2
19	50	430	380	7.6
25	50	550	500	10.0
30	50	650	600	12.0
36	50	650	600	12.0

Fuente: [26]

Se seleccionó las dimensiones que están resaltadas en la tabla anterior para poder realizar una comparación del material compuesto y el aglomerado que se fabrica en la empresa, ya que la empresa realiza ensayos de flexión con dichas dimensiones. Se fabricó un molde de acero con las dimensiones para después fundir el material compuesto y crear las probetas.

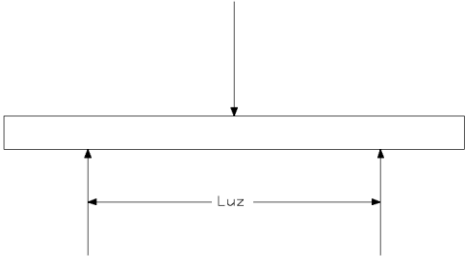


**Tabla 23.** Fabricación de probetas para ensayo de flexión

<b>Fabricación de probetas para ensayo de flexión</b>	
<b>Norma:</b>	No Aplica
<b>Materiales</b>	<b>Características</b>
Molde de acero	Acero A36
Prensa manual	Longitud 100 mm
Horno a gas	Indurama 150 °C-250 °C
<b>Numero de probetas:</b>	5 para cada muestra
<b>Procedimiento:</b>	<b>Imágenes del procedimiento</b>
1. Se repite el procedimiento de la tabla 20 a diferencia que, para obtener el espesor deseado se debe introducir 260 g del material peletizado.	

Fuente: El autor

Según la norma ASTM D 1037 el material debe poseer las propiedades que va a obtener el producto final y sacar una muestra con las dimensiones que dicta la norma, para este ensayo se toma en cuenta parámetros como luz (distancia entre apoyos) y velocidad de avance del actuador.

Tabla 24. Ensayo de flexión

Ensayo de flexión	
Norma	ASTM D 1037
Acondicionamiento:	Condiciones ambientales apropiadas para el uso final previsto del producto.
Máquina de ensayos:	Imal IBX600 máquina de laboratorio
Dimensiones de probeta:	Espesor: 15 mm Largo: 350 mm Ancho: 50 mm
Diagrama de carga:	
Parámetros:	Luz: 300 mm Según la norma ASTM D 1037 la velocidad de avance del actuador es: 6.9 mm/min para espesor de 15 mm
Ejecución:	
Fractura	

Fuente: El autor

### 10.9 Ensayo de absorción de agua e hinchamiento

La humedad es el peor enemigo de la madera, ya que lo absorbe y se hincha y cuando lo expulsa se contrae. El ensayo de absorción de agua e hinchamiento se debe aplicar en el material compuesto ya que la absorción puede tener modificaciones de las propiedades del WPC.

Fórmulas para calcular la densidad de la probeta:

$$V = L \cdot W \cdot H \quad (3)$$

Donde:

V es volumen de un prisma rectangular; ( $\text{mm}^3$ ).

L es longitud; (mm).

W es ancho; (mm).

H es altura; (mm).


$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Donde:

$\rho$  es densidad; ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

m es masa; (g).

**Tabla 25.** Ensayo de absorción de agua e hinchamiento

<b>Ensayo de absorción de agua e hinchamiento</b>	
<b>Norma</b>	ASTM D 1037 Individual Continuo 24 h inmersión en agua
<b>Acondicionamiento</b>	Probetas de (50x50x15) mm Agua destilada para la sumersión.
<b>Materiales:</b>	<b>Características</b>
Balanza digital	EXCELL, BH3, 5V
Recipiente	-
Calibrador Pie de Rey	SOYODA
Agua	Destilada
<b>Procedimiento:</b>	
1. Medir las probetas.	P5M5 (L=51,4 W=49,1 H=17) mm
	P6M4 (L=53,2 W=49,5 H=16,2) mm
	P5M4A1 (L=51 W=49,1 H=14,2) mm
2. Se procede a pesar y calcular el volumen y densidad de cada una de las muestras.	P5M5: m= 39,1 g V= 42,9 $\text{cm}^3$ $\rho= 0,911 \text{ g}/\text{cm}^3$
	P6M4 m= 37,4 g V= 42,66 $\text{cm}^3$ $\rho= 0,877 \text{ g}/\text{cm}^3$
	P5M4A1 m= 31,9 g V= 35,56 $\text{cm}^3$ $\rho= 0,897 \text{ g}/\text{cm}^3$
3. Introducir las muestras horizontalmente en agua destilada durante 24 h.	

Fuente: El Autor

## 11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN DEL MATERIAL WPC Y SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 11.1 Introducción

En este punto se explica cada uno de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a la composición y se hará una comparación del WPC con el aglomerado para determinar si el WPC puede ser un material sustituto a la madera.

### 11.2 Resultados del contenido de humedad del polvo de madera.

Cálculo de la humedad:

$$MC = \frac{A - B}{B - C} \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Donde:

MC = contenido de humedad; (%).

A = Peso recipiente más la muestra húmeda; (g).

B = peso recipiente más la muestra seca; (g).

C = peso del recipiente; (g).

$$MC = \frac{228g - 225g}{225g - 178g} \cdot 100 (\%)$$

$$MC = 6,38 (\%)$$

El contenido de humedad del polvo de madera fue de 6,38 %, por lo que, se debe realizar un pre secado de la materia prima en donde se utilizó el mismo horno y se dejó reposar durante 24 h.

### 11.3 Resultados de la extrusión del material compuesto

En los primeros intentos de extrusión la superficie del material al salir por la boquilla de extrusión no obtuvo uniformidad fig. 17 a), esto se produce al realizar una composición con mayor cantidad de polvo de madera, haciendo que la matriz polimérica no logre mojar por completo al material reforzante, forzando al tornillo al obstruirse el material en cilindro y la boquilla.

**Figura 17.** a) Material extruido con 65 % de polvo de madera del peso total. b) Material extruido con 50 % de polvo de madera del peso total.



**Fuente:** El autor

Como se puede observar en la anterior figura al realizar una composición con el 65 % de polvo de madera del peso total no se logra uniformidad, se disminuyó este porcentaje a 50 % y se obtuvo una mejor uniformidad al salir el material por la boquilla de la extrusora.

Por otra parte, el material presenta una pequeña porosidad en corte transversal, esto se debe al propio material fibroso.

**Figura 18.** Material extruido en corte transversal



**Fuente:** El autor

#### 11.4 Resultado de fundición de las probetas

La forma ideal para obtener las probetas es mediante un cabezal de extrusión para después mecanizar a las medidas que se necesita o por inyección en un molde a las dimensiones que rige la norma, pero la máquina extrusora con la que se cuenta solo posee una boquilla de extrusión de 8 mm de diámetro, el proceso que se llevó a cabo para la fabricación de las probetas se encuentra en la tabla 20 y 23.



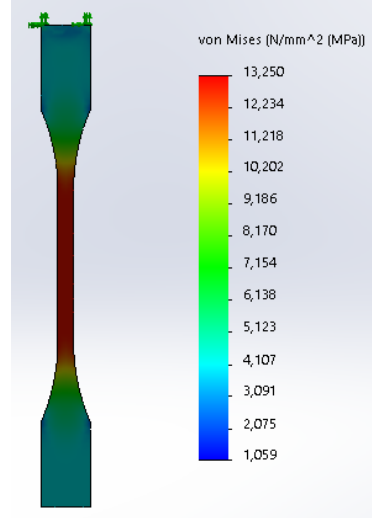
Fuente: El autor

Las probetas muestran una buena compactación después de haber salido del molde, en la probeta para el ensayo de flexión no se tuvo que cortar o mecanizar ya que el molde tiene las dimensiones que se requiere, en la probeta para el ensayo de tracción se tuvo que mecanizar a las dimensiones que se necesita, pero el resultado mostro algunas irregularidades en las superficies y se optó por el corte laser en donde se obtuvo mejores resultados y medidas más exactas.

### 11.5 Simulación del ensayo de tracción

Se simuló en la prueba en línea de SolidWorks el Polietileno de alta densidad para tener datos sus propiedades mecánicas con las dimensiones de la probeta y después poder compararlas con el WPC, se observa en la figura que la probeta está sometida a esfuerzo de tracción, la mayor tensión está en zona roja y es por donde va a sufrir la rotura, se determinó que la carga máxima que se puede aplicar al PEAD con las dimensiones de la probeta a ensayar es 390 N, su módulo elasticidad es 172 MPa y resistencia a la tracción de 13.25 MPa

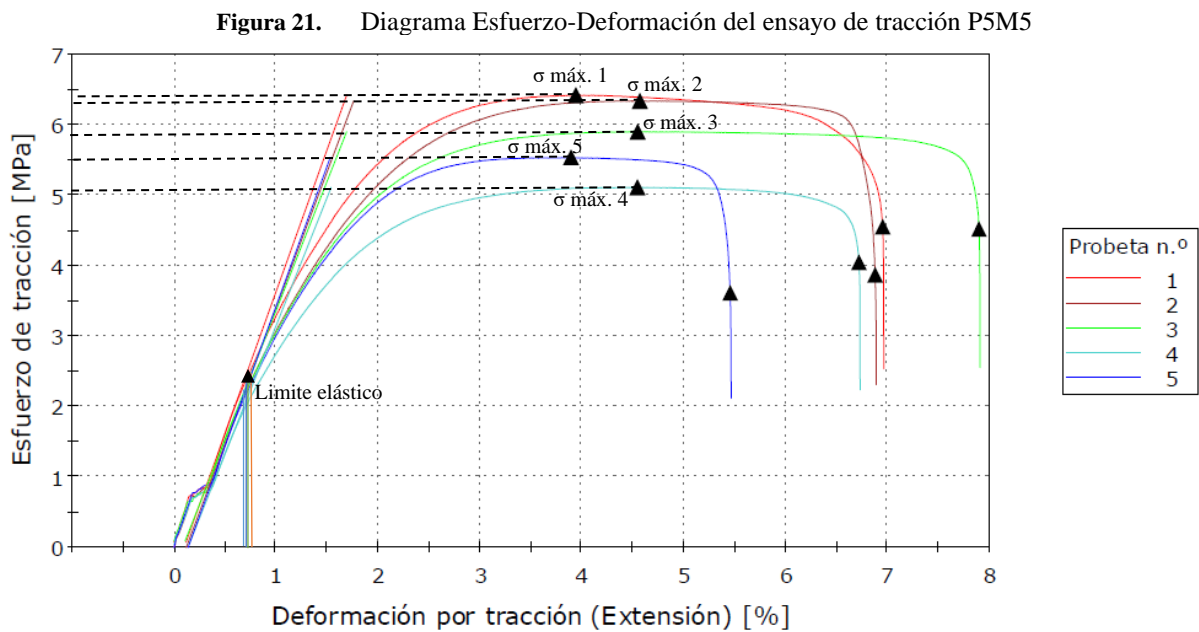
**Figura 20.** Simulación de probeta sometida a tracción



Fuente: El autor

## 11.6 Resultados del ensayo de tracción

Las primeras probetas que se realizaron mediante mecanizado no estaban lo suficientemente uniformes y solo se ensayaron 4 para P5M5, 4 para P6M4 y 3 para P5M4A1. Ver los resultados en los anexos 6, 7 y 8. Después se cortaron las probetas mediante corte láser y se ensayaron las 5 muestras que pide la norma, los diagramas fuerza-alargamiento de cada una de las pruebas están desde el anexo 6 al anexo 14, a continuación se muestran los resultados de los ensayos de tracción.



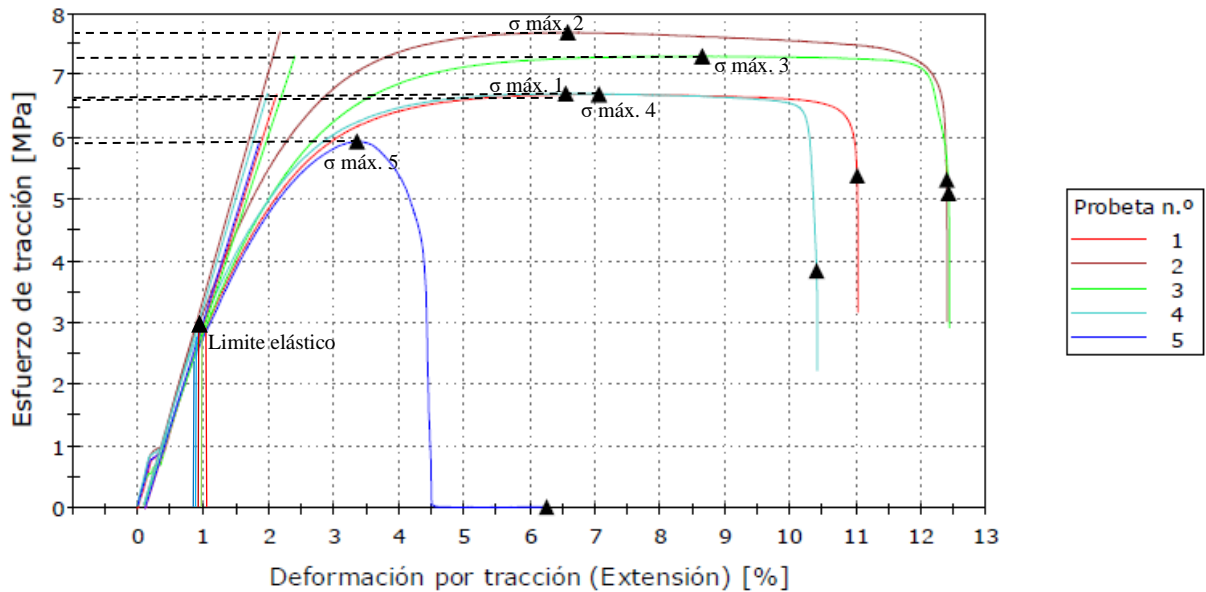
Fuente: El autor

El diagrama muestra el esfuerzo en MPa y deformación en porcentaje de la longitud total, en cada curva existe dos puntos de referencia que indican la resistencia máxima a la tracción y la resistencia de tracción en la rotura, en la siguiente tabla se obtiene los datos.

**Tabla 26.** Resultados de ensayos de tracción P5M5

Tracción P5M5								
Probeta	Fuerza de Tensión [MPa]	Resistencia a la tracción en rendimiento [MPa]	% Elongación en rendimiento [%]	Resistencia a la tracción en la rotura [MPa]	% Alargamiento a la rotura [%]	Módulo [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	6.41	6.41	3.94	4.55	6.94	403	6.00	4.49
2	6.33	6.33	4.57	3.87	6.87	386	6.00	4.73
3	5.90	5.90	4.54	4.52	7.89	367	6.00	4.96
4	5.11	5.11	4.54	4.05	6.71	363	6.00	4.86
5	5.53	5.53	3.89	3.62	5.45	398	6.00	4.18
Media	5.86	5.86	4.30	4.12	6.77	383	6.00	4.64
S.D.	0.550	0.550	0.348	0.409	0.872	17.8	0.000	0.313

Fuente: El autor

**Figura 22.** Diagrama Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción P6M4

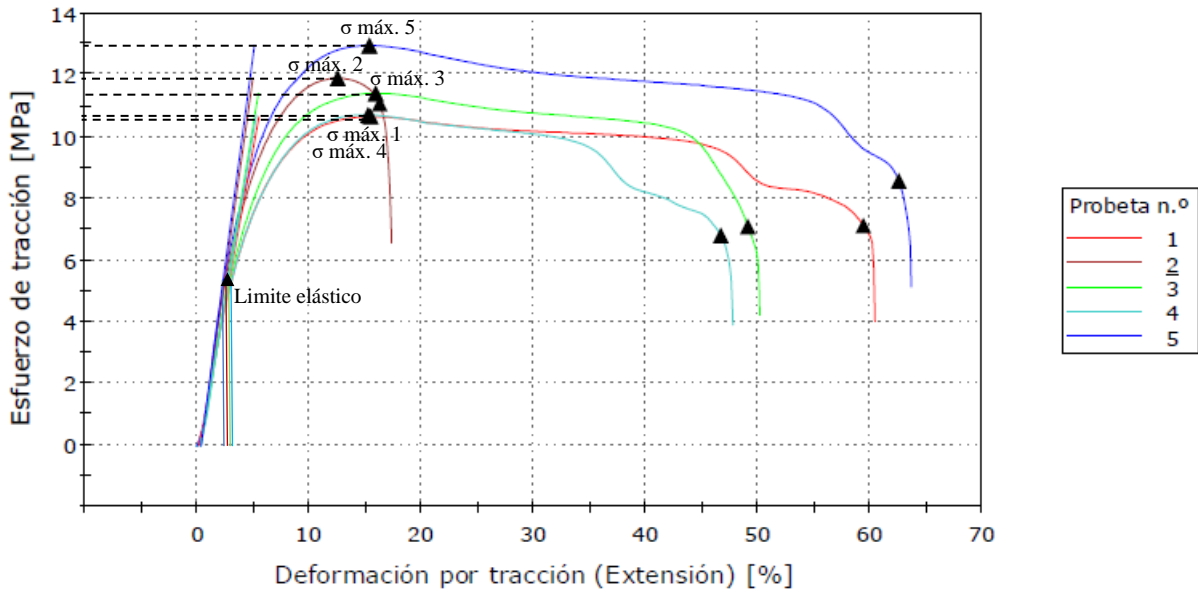
Fuente: El autor

Existe tres zonas en la curva de cada probeta la primera es la zona elástica, la segunda es la zona plástica y la tercera es la tenacidad del material compuesto, también se puede observar el límite elástico que es hasta donde se puede aplicar una fuerza y regresar a su estado inicial sin contener una deformación permanente, en la pendiente se puede obtener el módulo de elasticidad en cualquier punto y el punto más alto de la curva es la resistencia a la tracción. Estos datos los podemos ver en la siguiente tabla.

**Tabla 27.** Resultados de ensayos de tracción P6M4

Tracción P6M4								
Probeta	Fuerza de Tensión [MPa]	Resistencia a la tracción en rendimiento [MPa]	% Elongación en rendimiento [%]	Resistencia a la tracción en la rotura [MPa]	% Alargamiento a la rotura [%]	Módulo [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	6.69	6.69	7.06	5.38	11.0	333	6.00	4.40
2	7.69	7.69	6.58	5.31	12.4	367	6.00	4.06
3	7.30	7.30	8.64	5.10	12.4	315	6.00	4.76
4	6.70	6.70	6.55	3.85	10.4	351	6.00	4.23
5	5.93	5.93	3.35	0.03385	6.25	338	6.00	4.41
Media	6.86	6.86	6.44	3.93	10.5	341	6.00	4.37
S.D.	0.672	0.672	1.921	2.266	2.523	19.6	0.000	0.260

Fuente: El autor

**Figura 23.** Diagrama Esfuerzo-Deformación del ensayo de tracción P5M4A1

Se observa que en este compuesto tiene una mayor deformación y la resistencia más alta a la tracción, pero con un módulo de elasticidad bajo, esto se debe al aditivo que se utilizó, haciendo que aumente la zona plástica y la tenacidad del WPC.

Fuente: El autor

**Tabla 28.** Resultados de ensayos de tracción P5M4A1

Tracción P5M4A1								
Probeta	Fuerza de Tensión [MPa]	Resistencia a la tracción en rendimiento [MPa]	% Elongación en rendimiento [%]	Resistencia a la tracción en la rotura [MPa]	% Alargamiento a la rotura [%]	Módulo [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	10.6	10.6	15.5	7.11	59.4	200	6.00	4.98
2	11.9	11.9	12.6	11.1	16.3	256	6.00	4.91
3	11.4	11.4	16.0	7.08	49.1	223	6.00	5.35
4	10.7	10.7	15.3	6.80	46.7	217	6.00	5.37
5	12.9	12.9	15.4	8.56	62.5	273	6.00	4.76
Media	11.5	11.5	14.9	8.12	46.8	234	6.00	5.07
S.D.	0.949	0.949	1.346	1.777	18.297	29.8	0.000	0.273

Fuente: El autor

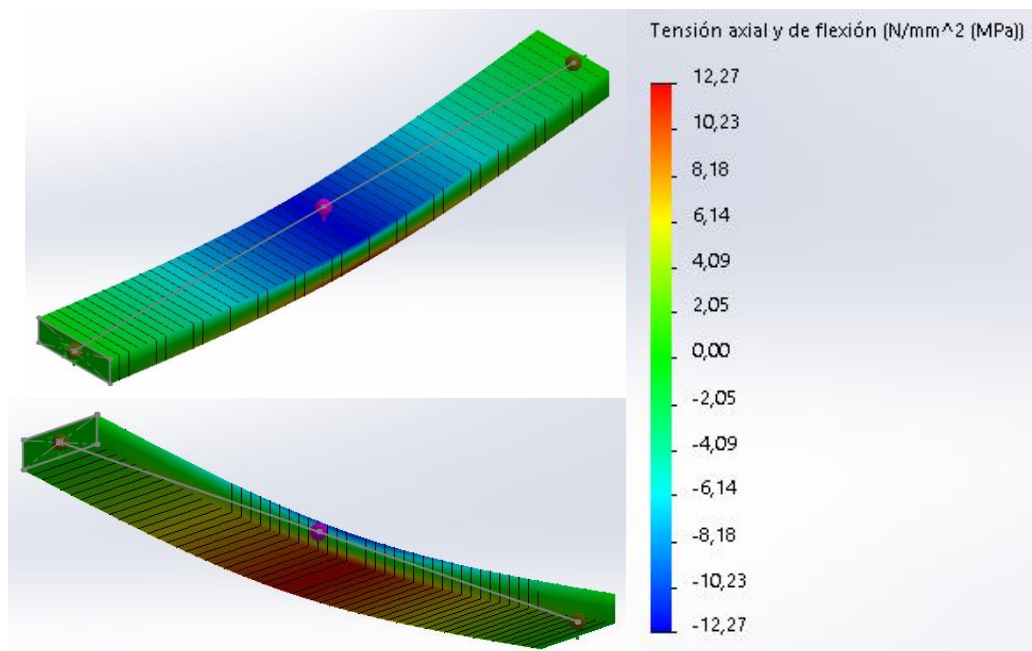
La mayor resistencia a la tracción obtuvo el compuesto P5M4A1 siendo 11.5 MPa, en esta composición el aditivo que se utilizó si obtuvo efecto aumentado la plasticidad con un porcentaje deformación de 46.8 % de la longitud inicial a diferencia de los que no tienen y su

módulo de elasticidad de 234 MPa, pero el módulo de elasticidad más alto es del compuesto P5M5 de 383 MPa, esto se interpreta que a mayor porcentaje de polvo de madera mayor es el módulo de elasticidad y menor la resistencia a la tracción y menor la deformación que sufre al aplicar la carga hasta su límite elástico.

### 11.7 Simulación del ensayo de flexión

Se puede observar en la figura que en el ensayo de flexión la probeta está sometida a deformaciones de compresión y tensión, la compresión es negativa y se encuentra en la parte superior, la tensión es positiva y se encuentra en la parte inferior de la probeta. La tensión está en zona roja y es por donde va a sufrir la rotura, se determinó que la carga máxima que se puede aplicar al PEAD es 263 N y su resistencia a la tracción es 12 MPa.

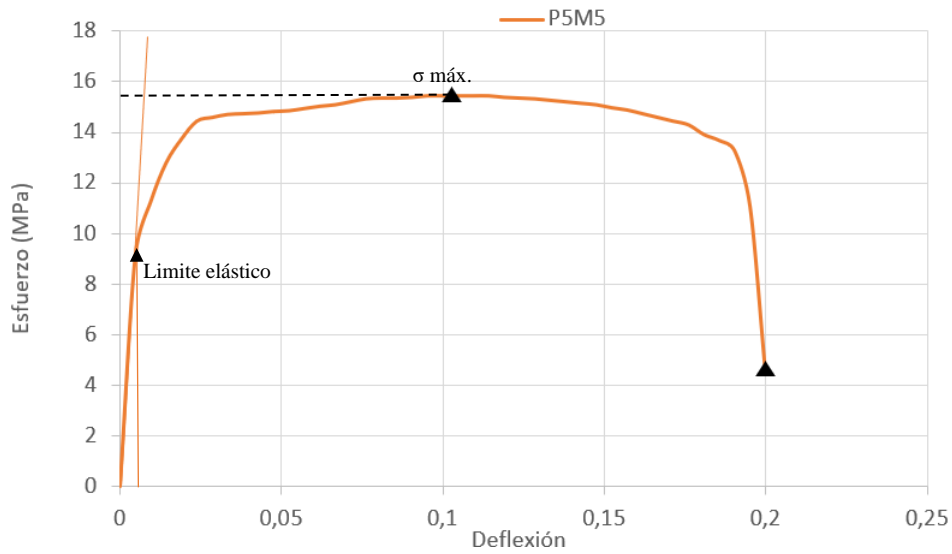
**Figura 24.** Simulación de probeta sometida a flexión a) Compresión zona azul b) tensión zona roja



Fuente: El autor

### 11.8 Resultados del ensayo de flexión

Las curvas que se muestran en las siguientes figuras son un promedio de las 5 probetas por cada muestra, ya que en el laboratorio de control de calidad de Aglomerados Cotopaxi se obtienen los resultados en valores numéricos y las curvas no se pueden imprimir.

**Figura 25.** Diagrama Esfuerzo-Deflexión P5M5

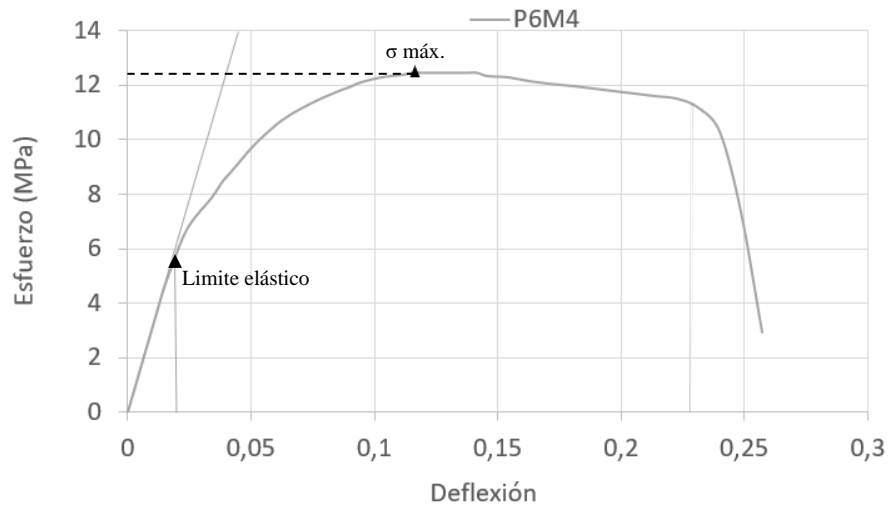
Fuente: El autor

El P5M5 resultó ser el compuesto con mayor resistencia a la flexión con 15.08 MPa y módulo de elasticidad de 750 MPa.

**Tabla 29.** Resultados de ensayos de flexión P5M5

Flexión P5M5									
Probeta	Longitud	Anchura	Espesor	Peso	Densidad	Peso por superficie	Fuerza	Flexión	Elasticidad
	mm	mm	mm	g	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	350.00	48.80	15.08	278.02	1079.41	16.28	451.11	14.25	610.72
2	350.00	48.72	15.24	287.02	1104.46	16.83	477.58	14.67	654.93
3	350.00	49.10	15.36	289.02	1094.93	16.82	515.83	15.15	772.53
4	350.00	49.80	15.60	292.02	1073.97	16.75	585.46	15.56	843.20
5	350.00	49.08	15.78	300.59	1108.91	17.50	608.01	15.80	872.09
Media	350.00	49.10	15.41	289.33	1092.34	16.84	527.6	15.08	750.69
Desv. est.		0,43	0.28	8.18	15.27	0.44	67.66	0.6	114.60

Fuente: El autor

**Figura 26.** Diagrama Esfuerzo-Deflexión P6M4

Fuente: El autor

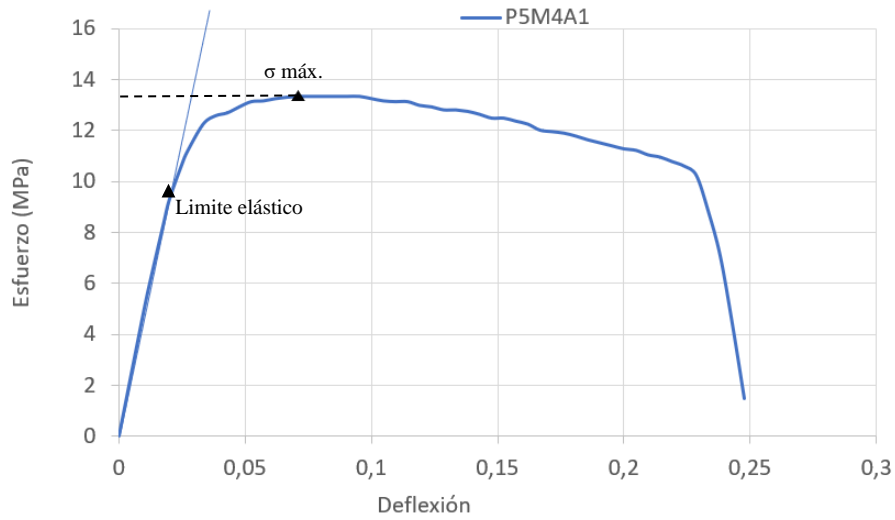
El P6M4 es el que menor concentración de polvo de madera tiene y obtuvo la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad más bajos siendo 11.17 MPa y 325.4 MPa respectivamente, se tiene bajos resultados por qué la finalidad del polvo de madera es reforzar al polímero y como tiene una baja concentración no cumple con su propósito.

**Figura 27.** Resultados de ensayos de flexión P6M4

<b>Flexión P6M4</b>									
Probeta	Longitud	Anchura	Espesor	Peso	Densidad	Peso por superficie	Fuerza	Flexión	Elasticidad
	mm	mm	mm	g	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	350.00	49.50	15.84	253.46	923.59	14.63	356.96	11.44	342.65
2	350.00	49.60	15.76	256.76	938.47	14.79	341.96	11.36	342.06
3	350.00	49.54	15.65	255.34	940.98	14.73	333.92	11.13	329.11
4	350.00	49.76	15.55	260.75	962.82	14.97	329.5	10.98	311.69
5	350.00	49.48	15.54	262.04	973.69	15.13	328.52	10.92	301.48
Media	350.00	49.58	15.67	257.67	947.91	14.85	338.17	11.17	325.4
Desv. est.		0.11	0.13	3.63	20.09	0.20	11.768	0.23	18.36

Fuente: El autor

**Figura 28.** Diagrama Esfuerzo-Deflexión P5M4A1



Fuente: El autor

En este compuesto al realizar el ensayo las probetas no se fracturaron solo de doblaron y el actuador realizó todo su recorrido hasta que las probetas se salieron de su base, se puede decir que el aditivo actúa en la plasticidad obteniendo los siguientes resultados.

**Figura 29.** Resultados de ensayos de flexión P5M4A1

Flexión P5M4A1									
Probeta	Longitud	Anchura	Espesor	Peso	Densidad	Peso por superficie	Fuerza	Flexión	Elasticidad
	mm	mm	mm	g	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	350.00	49.52	15.54	287.92	1068.99	16.61	456.99	12.92	419.24
2	350.00	49.52	15.44	269.92	1008.65	15.57	432.18	12.99	475.14
3	350.00	49.51	15.33	267.23	1005.96	15.42	412.66	13.02	516.32
4	350.00	49.52	15.25	260.22	984.51	15.01	393.25	13.2	626.26
5	350.00	49.54	15.12	255.03	972.78	14.71	383.44	13.33	749.91
Media	350.00	49.52	15.34	268.06	1008.18	15.47	415.7	13.09	557.38
Desv. est.		0.01	0.16	12.55	37.13	0.73	29.71	0.17	131.66

Fuente: El autor

Los ensayos de flexión demuestran que la composición P5M5 tiene la mayor resistencia a la flexión y módulo de elasticidad, siendo 15.08 MPa y 750.69 MPa respectivamente. De nuevo

se afirma que mientras mayor porcentaje de polvo de madera se añada a la composición mejor será el módulo de elasticidad, siempre y cuando la matriz polimérica moje por completo al material reforzante y el aditivo solo aumento la plasticidad del compuesto.

### 11.9 Resultados del ensayo de absorción de agua e hinchamiento

El material compuesto tiene el beneficio de ser impermeable ya que la matriz polimérica recubre totalmente a la materia celulósica y al realizar el ensayo la absorción de agua el resultado fue mínimo, después de la inmersión en el agua durante 24 horas no se obtuvo ninguna variación de los datos y después de 148 horas se vuelve a medir, pesar y calcular la densidad.

**Tabla 30.** Resultados de ensayo de absorción de agua

Absorción de agua después de 148h		
Medidas después de 148 h.	P5M5	(L=51 W=49.1 H=14.2) mm
	P6M4	(L=53.2 W=49.5 H=16.2) mm
	P5M4A1	(L=51.4 W=49.1 H=17) mm
Densidad después de 148 h.	P5M5	m= 32 g V= 35.56 cm <sup>3</sup> $\rho = 0.9 \text{ g/cm}^3$
	P6M4	m= 37.5 g V= 42.66 cm <sup>3</sup> $\rho = 0.879 \text{ g/cm}^3$
	P5M4A1	m= 39.2 g V= 42.9 cm <sup>3</sup> $\rho = 0.914 \text{ g/cm}^3$
Ecuación:	$MC = \frac{A - B}{B} * 100 (\%)$	
Compuesto	Absorción (%)	
P5M5	0.31	
P6M4	0.26	
P5M4A1	0.26	

Fuente: El autor

El porcentaje de humedad fue determinado después de 148 horas ya que se registró un aumento de peso de 0.1 g después de este tiempo en todas las muestras, mientras que las dimensiones se mantienen y no se obtuvo ningún porcentaje de hinchamiento.

### 11.10 Comparativa Aglomerado, PEAD y WPC

Para poder comparar estos materiales deben efectuarse los ensayos en las mismas condiciones, el ensayo de flexión del material compuesto se realizó con la máquina universal que se ensaya al aglomerado. El ensayo de tracción no se pudo realizar con la misma máquina ya que no contaba con las mordazas para realizar el ensayo de tracción paralelo a la superficie y el ensayo que se realiza en Aglomerados Cotopaxi es tracción perpendicular a la superficie donde se utiliza resina epoxi para pegar las dos superficies de la probeta a dos bloques que actúan como

mordazas, este método no funciona para el material compuesto por lo que se opta realizar el ensayo de tracción basado en la norma ASTM 638. Las propiedades mecánicas del PEAD se determinaron mediante simulación con las mismas dimensiones que tienen las probetas de WPC.

En la tabla se puede apreciar los resultados que obtiene el aglomerado, el PEAD y los resultados del WPC en sus tres composiciones.

**Tabla 31.** Comparativa Aglomerado y WPC

		Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flexión (MPa)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Hinchamiento (%)	Absorción (%)
<b>Aglomerado</b>		0.49	3841.07	15.69	630 ± 6 %	8	35
<b>PEAD</b>		13.25	172	12.27	917	0	0.01
<b>WPC</b>	<b>P5M5</b>	5.86	750.69	15.08	1092.34 ± 1.39%	0	0.31
	<b>P6M4</b>	6.86	325.4	11.17	947.91 ± 2.12%	0	0.26
	<b>P5M4A1</b>	11.5	557.38	13.09	1008.18 ± 3.68%	0	0.26

Fuente: El autor

Se puede observar que en referencia al aglomerado el WPC tiene una resistencia superior a la tracción y resistencia a la flexión casi casi similar, pero el módulo de elasticidad es muy bajo, el hinchamiento es nulo y la absorción al agua es muy baja ya que se trata de un material compuesto con polímero, en estos compuestos su módulo de elasticidad es bajo y resistencia a la oxidación alta. El WPC al tener un módulo de elasticidad bajo por su matriz polimérica de PEAD y una resistencia a la flexión casi similar se explica que al aplicar el mismo esfuerzo al WPC y Aglomerado, el WPC va a tener una deformación más notable, pero los dos se van a fracturar con el mismo esfuerzo, esto sucede en la resistencia a la flexión.

### 11.11 Resumen de propiedades mecánicas y físicas del WPC en sus tres composiciones

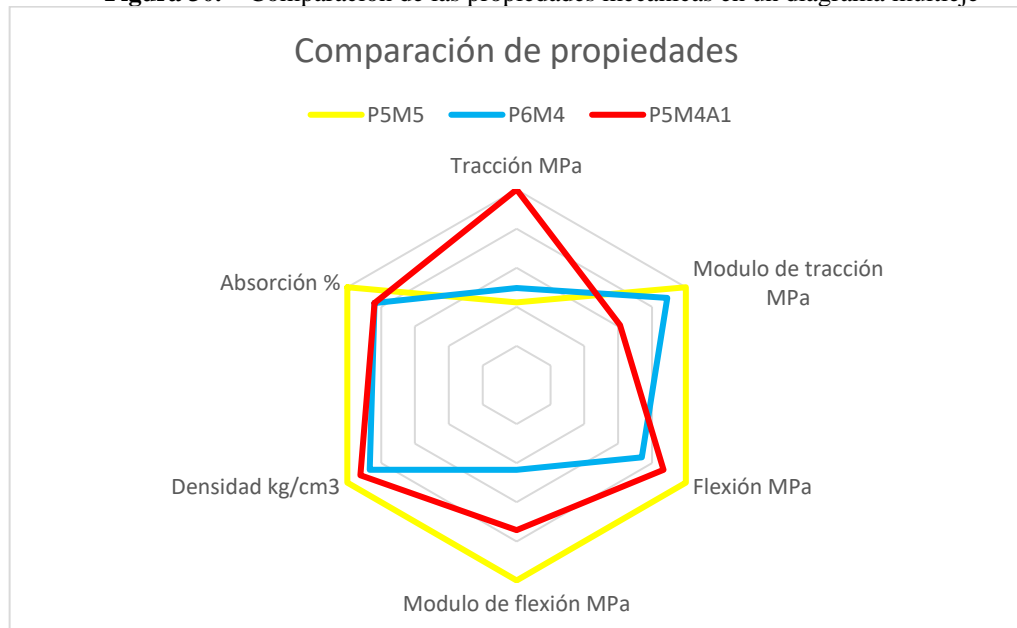
En la siguiente tabla se presentarán los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos a los que fue sometido el material compuesto en las tres composiciones que se realizó.

**Tabla 32.** Propiedades mecánicas y físicas del WPC

Compuesto	Resistencia a la tracción (ASTM D638) MPa	Módulo de elasticidad (ASTM D638) MPa	Resistencia a la flexión (ASTM D 1037) MPa	Módulo de elasticidad (ASTM D 1037) MPa	Hinchamiento (ASTM D 1037) %	Absorción (ASTM D 1037) %
<b>P5M5</b>	5.86	383	15.08	750.69	0	0.31
<b>P6M4</b>	6.86	341	11.17	325.4	0	0.26
<b>P5M4A1</b>	11.5	234	13.09	557.38	0	0.26

Fuente: El autor

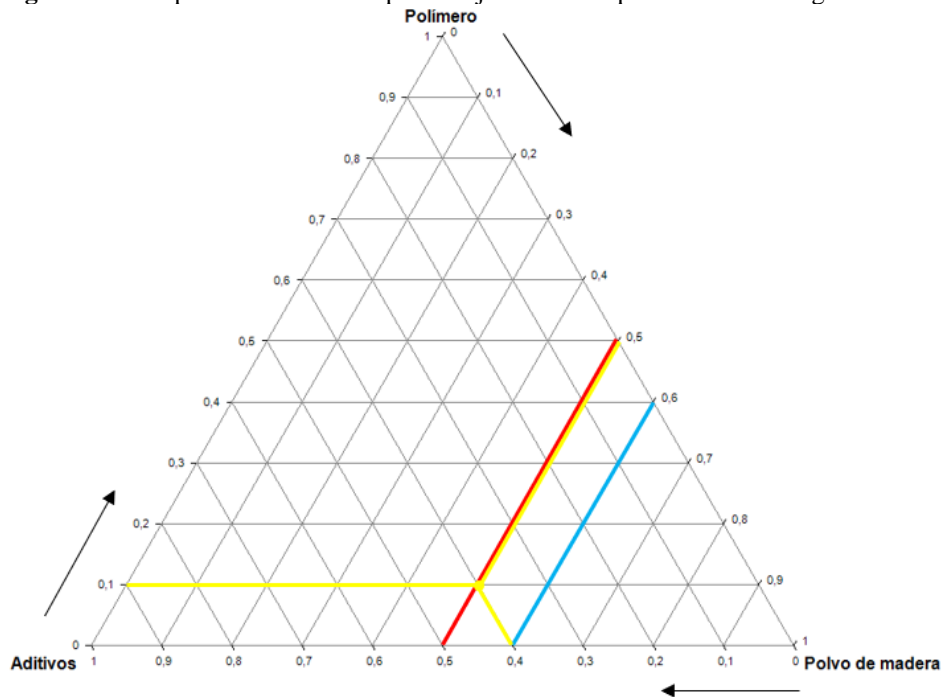
**Figura 30.** Comparación de las propiedades mecánicas en un diagrama multiteje



Fuente: El autor

En el diagrama multiteje se puede observar el comportamiento de cada composición en base a sus propiedades mecánicas y físicas (absorción), el que mejor resultado tiene en base a todas las propiedades que se determinó es en P5M5, seguido del compuesto que tiene el aditivo P5M4A1 y el que peor características obtuvo es el P6M4, ya que este último tiene mayor porcentaje de polímeros y no tiene el agente acoplante.

**Figura 31.** Representación de los porcentajes de la composición en un diagrama ternario



Fuente: El Autor

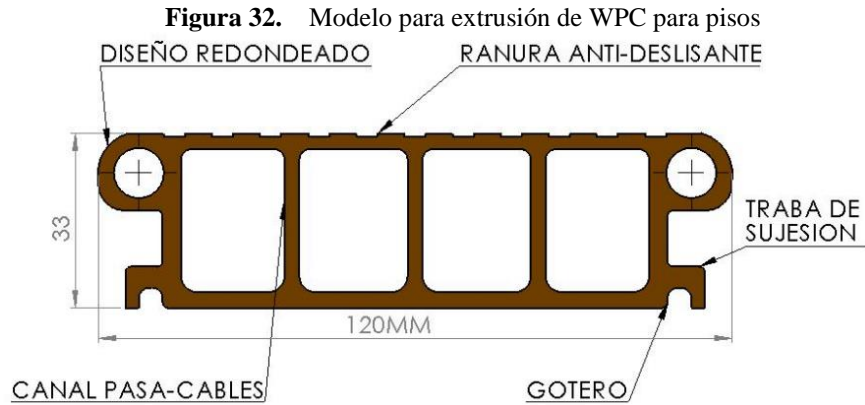
El diagrama ternario o triángulo de composición es un diagrama baricéntrico en donde se representan tres variables, La línea roja representa la primera composición (P5M5), la línea celeste la segunda composición (P6M4) y la amarilla la tercera composición (P5M4A1), los números en los bordes del triángulo representa los porcentajes. Mientras se aumente el porcentaje de polvo de madera mayor será el módulo de elasticidad, si se aumenta el porcentaje de aditivo aumentara la zona plástica y tenacidad del material.

### 11.12 Aplicaciones según sus propiedades mecánicas

Los WPC con matriz polimérica de PEAD son utilizados en su mayoría en pisos teniendo en cuenta que la absorción de agua es muy baja por ende no habrá el ataque de hongos, resistencia a la tracción y compresión son similares o superiores que las de la madera pero con módulo de elasticidad y rigidez baja esto se puede contrarrestar con la configuración geométrica de la pieza, aumentando su sección transversal, el espesor y disminuyendo la distancia entre apoyos [27], otra aplicación son las barrederas ya que estas no están sometidas a ninguna carga, también se puede fabricar marcos de ventanas, pero no se aconseja la fabricación de barandas o pasamanos y ningún sistema de apoyo que esté sometido a cargas altas.

Para aplicaciones de pisos existen muchas configuraciones geométricas en la sección transversal de los productos terminados, esto se hace para ganar rigidez y ahorrar material,

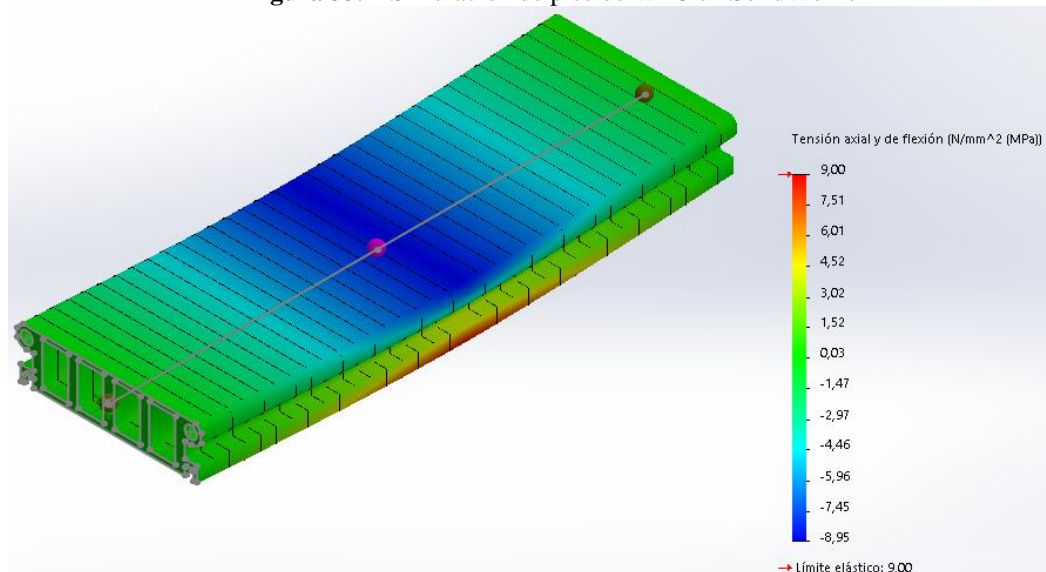
según datos bibliográficos una forma ideal para la extrusión de pisos de WPC aumentando su sección transversal para obtener una mayor rigidez es la siguiente:



Fuente: [28]

A este modelo de piso se simuló en SolidWorks, ya que este programa tiene la opción de crear nuevos materiales, se procedió a llenar cada uno de los parámetros que son necesarios para la simulación, se eligió tipo de modelo isotrópico lineal por que al momento de extruir el material las partículas de polvo de madera se distribuyen uniformemente en la matriz polimérica, se ingresó datos como el módulo elástico, coeficiente de Poisson (se obtuvo del polietileno de alta densidad), módulo cortante (se obtuvo del polietileno de alta densidad), límite de tracción, límite de compresión y limite elástico.

**Figura 33.** Simulación de piso de WPC en SolidWorks



Fuente: El autor

Según los resultados de la simulación se puede aplicar una carga de 1283 N antes se sobrepasar el límite elástico y que existan deformaciones permanentes en la pieza y 2236 N para que supere la resistencia a la tracción y se fracture con una longitud de 400 mm recomendado por la norma ASTM D6662.

### 11.13 Validación de la hipótesis

Para la validación de la hipótesis se utilizó el programa Excel en donde se compara cada muestra con cada propiedad mecánica, mediante un análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo.

**Tabla 33.** Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Propiedades mecánicas	2736246.61	5	547249.32	74.06	$1.41^{-7}$	3.33
Muestras	27347.48	2	13673.74	1.85	0.21	4.10
Error	73888.44	10	7388.84			
Total	2837482.53	17				

Fuente: El autor

Para la aceptación de la hipótesis nula o alterna se debe saber que si el valor de F calculada es mayor que el valor crítico de F se aprueba la hipótesis alterna. Caso contrario se aprueba la hipótesis nula.

Ho = La variación de los elementos que componen el WPC (Plástico + polvo de madera + aditivo) en el proceso de extrusión, no incide en las propiedades mecánicas.

Ha = La variación de los elementos que componen el WPC (Plástico + polvo de madera + aditivo) en el proceso de extrusión, mejora las propiedades mecánicas.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna en donde la variación de los elementos que componen el WPC mejoran las propiedades mecánicas, tomando en cuenta las concentraciones y las variables en el proceso de extrusión.

## **12 IMPACTO DEL WPC**

### **12.1 Impacto técnico**

Este proyecto tiene un impacto técnico de conocimientos sobre materiales que componen el WPC reciclados, proceso de manufactura y propiedades mecánicas. El polímero más reciclado en Cotopaxi es el Polietileno, el tipo de madera más utilizado es el pino y eucalipto, en base a estos materiales se propone un material compuesto, tomando en cuenta que los polímeros plásticos utilizados en la producción de WPC deben ser materiales de bajo punto de fusión con el fin de que puedan fundir y manipularse durante su transformación evitando la degradación térmica de la madera durante su fabricación. La temperatura de comienzo de degradación de la celulosa es de unos 200 a 210 °C, la temperatura de extrusión es de 175 a 185 °C, también se toma en cuenta las condiciones que debe tener los materiales antes de entrar a producción, el polímero reciclado debe ser previamente homogenizado, el polvo de madera debe tener una humedad menor al 2 %, tipos de secados para partículas finas, el proceso de extrusión y las propiedades mecánicas(tracción y flexión) y físicas(absorción e hinchamiento) del WPC.

### **12.2 Impacto social**

En este proyecto de investigación se indica cual es el proceso a llevar a cabo para la fabricación de WPC utilizando materia prima reciclada, esto fomenta al emprendimiento de empresas y microempresas que se dediquen a la producción de muebles, pisos y fachadas realizados con este material según las propiedades mecánicas que se necesiten.

### **12.3 Impacto económico**

Los WPC no son muy comerciales en Ecuador y los que se encuentra en su mayoría son importados, teniendo un costo de 80 a 120 Usd/m<sup>2</sup> para pisos de exteriores o interiores, esto depende del acabado y la geometría de la pieza, la producción de los WPC en China es de 12 a 16 Usd/m<sup>2</sup>. Tomando en cuenta a esto se puede decir que es factibles la creación de una microempresa de producción de WPC reciclado.

### **12.4 Impacto ambiental**

El impacto ambiental de este proyecto es poder reutilizar plástico y polvo de madera desechados para crear un material que se parece a la madera con características similares y amigable con el medio ambiente, atraerá a la creación de microempresas dedicadas a producir este material y ayudarían a disminuir la contaminación por plástico, tomando en cuenta que para que se degrade el plástico se necesita un siglo y más aún si está enterrado (1000 años).

### 13 INVERSIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El monto de inversión del proyecto se obtuvo mediante el costo por actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

	Actividades	Semana																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Encuestas, entrevistas y visitas de los sitios de abastecimiento de la materia prima.	■		■														23.7
2	Levantamiento de información de todos los lugares de abastecimiento de plástico y madera		■	■														6
3	Caracterización cuantitativa y cualitativa de materiales reciclables de plástico y madera					■												3
4	Visitas técnicas y entrevista a empresas y personal de fabricación de plásticos y WPC mediante el proceso de extrusión.					■	■											13
5	Revisión de artículos científicos y normas ligadas a la fabricación de WPC.					■	■	■										9
6	Experimentación con diferentes porcentajes de matriz polimería, material reforzante y					■	■	■	■									472
7	Recopilación de información de normas de propiedades físicas y mecánicas de WPC								■	■								6
8	Fabricación de probetas para realizar ensayos físicos y mecánicos.									■	■	■	■					368
9	Correlación de materiales y procesos de fabricación															■	■	6
<b>Total, USD</b>																<b>906.7</b>		

## 14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 14.1 Conclusiones

- El Polietileno de alta y baja densidad es el más reciclado en Cotopaxi con el 86,6 % teniendo en promedio 2,3 ton/mes, se seleccionó el PEAD con una temperatura de proceso de 135 °C y descomposición de 290 °C, el residuo de madera más desechados son el eucalipto y pino representando el 56.6 %, con un promedio de 576.2 kg/mes, Aglomerados Cotopaxi tienen un promedio de desechos de 2 ton/día de polvo de madera, se seleccionó el polvo madera ya que mientras más pequeña es la partícula, menos contenido de humedad se encuentra y aumenta el módulo de elasticidad, siendo esto un beneficio ya que no se requerirá de mucho tiempo de secado, en tanto a los aditivos se seleccionó el Anhídrido maleico como agente acoplante.
- El proceso de extrusión está definido por algunas variables a tomar en cuenta y condiciones que debe tener la materia prima antes de ser extruida, se debe tomar en cuenta que el polímero reciclado aun no procesado viene con etiquetas, tierra y otros materiales, que se deben limpiar mediante un proceso hasta tener el polímero homogenizado. El polvo de madera tiene una humedad que varía desde 2% al 10% en condiciones normales, se debe realizar un proceso de secado hasta que la humedad sea menor al 2 %, si no se cumple esto, la humedad se evapora dentro de la máquina produciendo aumento de presión y espacios de aire al salir el material de la extrusora.
- Al realizar una composición que supera el 60 % del polvo de madera, el tornillo tiende a atascarse y forzar al motor, esto hace que al salir el material de la extrusora no tenga uniformidad, mientras mayor porcentaje de polvo de madera se añada al compuesto mejor será el módulo de elasticidad y su rigidez, esto se cumplirá siempre y cuando la matriz polimérica moje por completo al material reforzante.
- La temperatura ideal de extrusión es de  $175 \pm 5$  °C y  $185 \pm 5$  °C en las zonas uno y dos del control de temperatura respectivamente, la velocidad de tornillo que tiene la máquina es de 80 rev/min, esto se puede afirmar ya que cuando se supera el límite de temperatura, el polvo de madera se empieza a carbonizar, mientras que si se baja de temperatura no se logra una buena homogenización aumentando la viscosidad.
- El compuesto con la mayor resistencia a la tracción es el P5M4A1 con 11.5 MPa, pero con un módulo de elasticidad de 234 MPa, el compuesto con mayor resistencia a la flexión y módulo de elasticidad es el P5M5 siendo de 15.08 MPa y 750.69 MPa respectivamente. La absorción de agua que se registró es de 0.26% después de 148 h. para el P6M4 y P5M4A1 y de 0.31 % para el P5M5 esto es porque existe una mayor

concentración de polvo de madera en este último compuesto, y no se compara con el aglomerado ya que este tiene una absorción de 35 %.

- El WPC es de fácil elaboración siempre y cuando se conozcan todos los parámetros que se deben tomar en cuenta y sus propiedades físico mecánicas, pudiendo sustituir a la madera con ciertas limitaciones debido a su bajo módulo de elasticidad, esta debilidad se puede superar al aumentar la sección transversal, disminuir la distancia entre apoyos y ejercer ciertas configuraciones geométricas al momento de ser extruido por un cabezal.

#### **14.2 Recomendaciones**

- Se sugiere que para realizar este tipo de extrusión de materiales compuesto se trabaje en una máquina extrusora que tenga control de temperatura en las tres zonas del tornillo (alimentación, transición y dosificación), debe tener control de la velocidad del tornillo, indicador de presión (manómetro), debe ser de dimensiones mayores a la máquina que se utilizó en este proyecto, esto se debe a que si se quiere experimentar con diferentes tamaños de fibras de madera o de cualquier otro material no se tenga como desventaja el ingreso de los materiales por la tolva y tenga un recorrido largo en el cilindro para tener una mejor homogenización, y mucho mejor si se trabaja con una extrusora de tornillo doble.
- Para extruir el WPC se recomienda realizarlo mediante un cabezal de extrusión con ciertas configuraciones geométricas que ayuden a dar rigidez y ahorrar material, por lo que no se podría extruir un bloque sólido ya que sería muy pesado y un desperdicio, esto depende a la aplicación que se le va a dar, los WPC que tiene una matriz polimérica de PEAD se los utiliza para pisos de exteriores o interiores con un recubrimiento melaminico siendo un material fácil de cortar, clavar y atornillar.
- Se recomienda experimentar con otro tipo de polímero ya que se puede obtener mejores propiedades que las que se obtuvo con el PEAD, según (AIDIMME 2017) realizar una composición con Polipropeno se obtiene una resistencia a la flexión de 41.36 MPa muy superior a los 15.08 MPa que se obtiene con PEAD.
- Se recomienda utilizar poliolefinas de polietileno con injerto de anhídrido maleico como agente acoplante, este aditivo es uno de los más utilizados por las industrias que se dedican a fabricar WPC.

## 15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Delgado, W. Aperador y W. Gómez, «Mejoramiento de las Propiedades de Tensión en WPC de LDPE: HIPS/Fibra Natural Mediante Entrecruzamiento con DCP,» *SCielo*, vol. 24, n° 3, pp. 291-299, 2014.
- [2] O. Martikka y T. Kärki, «Promoviendo el reciclaje de polímeros de residuos mixtos en compuestos de polímeros de madera usando compatibilizadores,» *Recycling*, vol. 4, n° 1, p. 15, 2018.
- [3] Y. Guo, S. Zhu, Y. Chen y D. Li, «Propiedades térmicas de compuestos de madera y plástico con diferentes composiciones,» *Energies*, vol. 12, n° 6, p. 13, 2019.
- [4] D. López, «Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos,» *Entre ciencia e ingeniería*, vol. 12, n° 23, p. 20, 2018.
- [5] A. Catto, «Wood plastic composites weathering: Effects of compatibilization on biodegradation in soil and fungal decay,» *International Biodeterioration y Biodegradation*, vol. 109, pp. 11-22, 2019.
- [6] C. Correa, «Compuestos termoplásticos con madera,» *SciELO*, vol. 13, n° 3, pp. 164-165, 2013.
- [7] J. Aguilar, CIENCIA DE LOS MATERIALES, Guatemala, 2013.
- [8] F. Stupenengo, Materiales y Materias Primas, Buenos Aires: Saavedra 789. C1229ACE., 2011.
- [9] D. Hull, Materiales Compuestos, Barcelona: Reverté S.A., 2003.
- [10] J. Trejos, PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MATRIZ DE POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE COCO COMPARADAS CON LA MISMA MATRIZ REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO, Peira, 2014.
- [11] Mariano, «WPC sigue en la cima,» *Tecnología de plásticos*, p. 2, 06 Febrero 2014.
- [12] J. Ramón, «Interempresas net,» 11 07 2016. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/159596-El-mecanismo-del-husillo.html>.
- [13] A. Klyosov, WOOD-PLASTIC COMPOSITES, Hoboken, 2007.
- [14] Casiopea, «Caseopea,» 2015. [En línea]. Available: [https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase\\_3\\_construcci%C3%B3n\\_1\\_n%C3%A1utica\\_2015\\_HDPE.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase_3_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_HDPE.pdf).
- [15] PYDSA Plásticos y derivados SA de CV, «PYDSA Plásticos y derivados SA de CV,» 2012. [En línea]. Available: <https://plastiductos.com.mx/specs/tabla-de-resistencia-mecanicas.pdf>.

- [16] M. Haque, «Rendimiento de la fatiga de los compuestos de PP reforzados con harina de madera pulverizada húmeda y seca,» *Journals of composites science*, vol. 3, n° 1, p. 20, 2019.
- [17] V. S y D. Bxter, «An overview of the chemical composition of biomass,» *Fuel*, vol. 10, 2016.
- [18] C.-M. Lai, «Un estudio experimental sobre el rendimiento térmico de materiales de cambio de fase y compuestos de madera y plástico para techos de edificios,» *Energies*, vol. 10, n° 2, p. 17, 2017.
- [19] V. Jara, «Diseño de una planta piloto para la obtención de granza de madera plastica a partir polietileno reciclado con particulas lignocelulosicas,» Quito, 2015.
- [20] A. Barrois, «Typical formulation,» *Du Pont*, vol. 10, n° 2, p. 6, 2014.
- [21] F. Zhusa, «Patentscope,» 2010. [En línea]. Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2006015201>. [Último acceso: 10 Mayo 2019].
- [22] B. Wang, «Extrusoratubular.blogspot,» 22 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://extrusoratubular.blogspot.com/2012/06/extrusion-de-materiales-plasticos.html>.
- [23] E. Savgorobny y G. Gustavo, *Transformacion de plasticos*, 1973.
- [24] F. Travez, «Mecatronica,» 2017. [En línea]. Available: <http://mecatronica-ipn-s1.blogspot.com/2015/08/ensayo-de-flexion.html>. [Último acceso: 07 2019].
- [25] A. D638, «Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,» *ASTM*, vol. 14, n° 2, pp. 3-4, 2015.
- [26] A. D1037, «Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials,» de *ASTM D1037*, Conshohocken, 2011, p. 30.
- [27] AIDIMME, «WOODPLASTFOC,» Valencia, 2017.
- [28] Gricodecks, «Pisos decks,» Buenos Aires, 2016.
- [29] V. Rosato, *Exrtuding Plastics*, 2009.
- [30] J. Gómez y G. Jorge, *Diseño de una maquina extrusora*, Pereira, 2007.
- [31] J. Tisalema, *Repotenciado y mantenimiento mejorativo de una maquina extrusora*, Riobamba, 2012.
- [32] J. Suárez, *Proyecto máquina extrusora*, Mexico, 2015.
- [33] J. Pereza, *Efecto del intemperismo acelerado UV y el uso de estabilizadores HALS en la protección de un material compuesto a base de residuos de madera de pino y PEAD reciclado*, Mexico, 2014.

- [34] S. Matthews, A. Toghyan y H. Eskelinen, «Fabricabilidad de láminas compuestas de plástico de madera sobre la base de la curva de enfriamiento posterior al procesamiento,» *BioRecursos*, vol. 10, n° 4, p. 18, 2015.
- [35] F. Muñoz y A. Ballerini, «VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FISICAS, MORFOLOGICAS Y TERMICAS DE LA FIBRA DE CORTEZA DE Eucalyptus nitens,» *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 15, n° 1, pp. 17-30, 2013.
- [36] S. Migneault, «Efectos del método de procesamiento y tamaño de la fibra en la estructura y propiedades de los compuestos de madera y plástico,» *Compuestos Parte A: Ciencia Aplicada y Fabricación*, vol. 40, n° 1, pp. 80-85, 2019.
- [37] C. Moya, «Propiedades físicas y mecánicas de compuestos de polietileno reciclado y harinas de corteza y madera de Pinus radiata,» *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 14, n° 1, pp. 13-28, 2012.
- [38] K. T, «Maleated coupling agents for natural fibre composites,» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 35, n° 3, pp. 357-362, 2004.
- [39] O. Martikka, «Promoting Recycling of Mixed Waste Polymers in Wood-Polymer Composites Using Compatibilizers,» *Recycling*, vol. 4, n° 1, p. 6, 2019.
- [40] G. Warmeling, «valuation of effect of corona treatment on the performance of UV stabilizers in LDPE films,» *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 24, n° 1, 2019.
- [41] P. Moreno y A. Ballerini, «Extrusión de compuestos de madera y plástico espumados. Parte I: Caracterización física y morfológica,» *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, vol. 23, n° 3, 2017.
- [42] O. Campaña y V. Guerrero, «Caracterización Mecánica y Térmica de Ácido Poliláctico (PLA) Reforzado con Polvo de Bambú (PB),» *Revista Politécnica*, vol. 42, n° 1, 2018.
- [43] A. Arteaga, S. Dalgo y J. Noboa, «Producción de Wood Plastic Composites,» Quito, 2019.
- [44] N. Serret y G. Giralt, «Caracterización de aserrín de diferentes maderas,» *SciELO*, vol. 36, n° 3, 2016.
- [45] A. D6109, «Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic Lumber and Related Products,» *ASTM*, vol. 3, p. 7, 2019.
- [46] E. Venegas, «Informe de resultados de tracción,» Escuela Politecnica Nacional, Quito, 2020.

16 ANEXOS

Anexo 1. Encuesta 1

**CUESTIONARIO**

**OBJETIVO:** Determinar la disposición de materias primas existentes en el mercado local que permita abastecer la demanda en la producción de un producto sustituto de madera cortas y largas dimensiones denominado WPC (Wood Plastic Reciclable Composites por sus siglas en inglés, traducido compuesto de plástico reciclable con madera) en la Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Se planea dar valor agregado al WPC, para producirla, generar fuentes de empleo y mejorar las condiciones socioeconómicas. Agradecemos contar con su valiosa contribución para elaborar el estudio en el aspecto de la demanda actual de residuos de madera aserrada de pino y eucalipto.

**Lugar de aplicación de la encuesta:**

Cantón: .....

Parroquia: .....

Zona: Urbana  Rural

Croquis ubicación:

Servicios básicos: Luz  Energía eléctrica   
 Agua Potable  Teléfono   
 Internet  Alcantarillado

**Segmento:**

**Clasifique su negocio de acuerdo a su criterio:**

Empresa productora de MDF, aglomerado u otro tipo de tablero   
 Carpintería   
 Aserradero   
 Taladora   
 Otro (indique) .....

**Identifique el tipo de madera que generalmente usa:**

Pino	<input type="checkbox"/>	Caoba	<input type="checkbox"/>
Eucalipto	<input type="checkbox"/>	Cedro	<input type="checkbox"/>
Teca	<input type="checkbox"/>	Balsa	<input type="checkbox"/>
Capulí	<input type="checkbox"/>	Guayacan	<input type="checkbox"/>
Otro .....			
.....			

**Producto**

¿Qué productos de madera reciclados genera su negocio, y cuál es la disposición final que le da a la misma?

Basura común  Generación de energía   
 Venta a reciclaje  Reutiliza el material

	Cantidad (kg / mes)	Precio (usd / kg)
Aserrín		
Polvo de madera		
Trozas de madera		
Jampa		

Ramas		
Corteza de madera		
Otro (especifique)		

**Mercado**

**¿Qué productos de madera procesada compra generalmente?**

Barrederas	<input type="checkbox"/>	Planchas varios espesores /o diferente material	y	<input type="checkbox"/>
Perfiles varios	<input type="checkbox"/>	Tiras medias (mayor 20 x 20 y max 100 x 100)		<input type="checkbox"/>
Tiras delgadas (max 20 x 20)	<input type="checkbox"/>	Tiras medias (mayor a 100 x 100)		<input type="checkbox"/>
Tablones (ancho max 100 x espesor max 20)	<input type="checkbox"/>	Tablones (ancho max 250 x espesor max 20)		<input type="checkbox"/>
Otro.....				
.....				

**¿Consideraría cambiar la madera por el WPC? ¿Cuáles serían la principal razón que usted consideraría para cambiar la madera por un material sustituto WPC?**

Si	<input type="checkbox"/>	<b>En caso de contestar SI, razones:</b>	
No	<input type="checkbox"/>	Precio	<input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/>
En caso de contestar No, cuales son sus razones		Facilidad de montaje	<input type="checkbox"/> Apariencia <input type="checkbox"/>
_____		Peso	<input type="checkbox"/> Versatilidad <input type="checkbox"/>
_____		Otro.....	_____

**¿Cuál es el medio de comunicación por el que le gustaría recibir información sobre el producto?**

Radio	<input type="checkbox"/>	Internet	<input type="checkbox"/>
Televisión	<input type="checkbox"/>	Redes sociales	<input type="checkbox"/>
Peródico local	<input type="checkbox"/>	Teléfono	<input type="checkbox"/>
Otro.....			

Agradecemos el tiempo y la oportunidad para servirles a ustedes.

**Anexo 2. Encuesta 2**

**CUESTIONARIO**

**OBJETIVO:** Determinar la disposición de materias primas existentes en el mercado local que permita abastecer la demanda en la producción de un producto sustituto de madera cortas y largas dimensiones denominado WPC (Wood Plastic Reciclable Composites por sus siglas en inglés, traducido compuesto de plástico reciclable con madera) en la Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Se planea dar valor agregado al WPC, para producirla, generar fuentes de empleo y mejorar las condiciones socioeconómicas. Agradecemos contar con su valiosa contribución para elaborar el estudio en el aspecto de la demanda actual de material plástico reciclado.

Lugar de aplicación de la encuesta:

Cantón:

.....

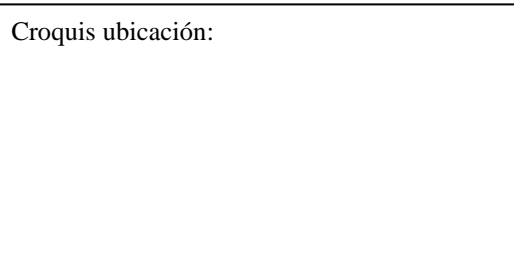
Parroquia:

.....

Zona:   Urbana

Rural

Croquis ubicación:



Servicios básicos:

Luz	<input type="checkbox"/>	Energía eléctrica	<input type="checkbox"/>
Agua Potable	<input type="checkbox"/>	Teléfono	<input type="checkbox"/>
Internet	<input type="checkbox"/>	Alcantarillado	<input type="checkbox"/>

Segmento:

Clasifique su negocio de acuerdo a su criterio:

Reciclador

Empresa de reciclaje

Productor de chips de pet

Identifique el tipo de plástico que generalmente recicla:

Galones de aceite	<input type="checkbox"/>	Plásticos de invernaderos	<input type="checkbox"/>
Botellas plásticas de bebidas	<input type="checkbox"/>	Contenedores de comida	<input type="checkbox"/>
Plásticos duros de uso industrial	<input type="checkbox"/>	Contenedores de líquidos varios (jabon, shampu, liquido de frenos, etc.)	<input type="checkbox"/>
Plásticos de electrodomésticos	<input type="checkbox"/>	Plásticos de fundas	<input type="checkbox"/>
Otro.....			

Producto

¿Clasifica los productos reciclados genera su negocio, y cuál es la disposición final que le da a la misma?

**Clasifica los plásticos**

Si	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

**En caso de contestar SI, tipos:**

Plásticos de baja densidad  
 Plásticos de alta densidad  
 Plástico Pet  
 palets, industriales, etc.)

**Disposición final de los plásticos:**

Venta al peso de material reciclado a otras empresas de procesamiento	<input type="checkbox"/>
Procesamiento para elaboración de chips	<input type="checkbox"/>
Procesamiento para inyección de materiales	<input type="checkbox"/>
Reutilización	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

¿Qué productos reciclados vende, y cuál es la cantidad promedio por mes y precio de venta?

	Cantidad (kg)	Precio (usd / kg)
Plásticos de baja densidad sin procesar		
Plásticos de alta densidad sin procesar		
Plástico Pet sin procesar		
Chip de baja densidad		
Chip de alta densidad		
Otro (especifique)		

Mercado

¿Dónde y a quienes compra su producto?

.....

¿Dónde y a quienes vende su producto?

-----

Agradecemos el tiempo y la oportunidad para servirles a ustedes.

**Anexo 3. Encuesta 3**

**CUESTIONARIO**

**OBJETIVO**

Actualmente se está realizando un estudio de factibilidad para la integración de una empresa de elaboración de madera plástica WPC (Wood Plastic Composites) con la finalidad de sustituir las demandas de productos de madera en la Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Se planea dar valor agregado al WPC, para comercializarla, generar fuentes de empleo y mejorar el ingreso, a fin de mejorar las condiciones socioeconómicas en la ciudad de Latacunga, conservar y acrecentar sus recursos forestales. Para el efecto, se pretende producir madera plástica WPC en cortas y largas dimensiones. Nos gustaría contar con su valiosa contribución para elaborar el estudio de mercado, en el aspecto de la demanda actual de madera aserrada de pino y eucalipto.

Por lo anterior, mucho le agradeceremos sus respuestas en la encuesta que se ha planteado llevar a cabo.

**Lugar de aplicación de la encuesta:**

Cantón: .....

Parroquia:  
.....

Zona:                                                  Urbana  
Rural

Croquis ubicación:

Servicios básicos:	Luz	<input type="checkbox"/>	Energía eléctrica	<input type="checkbox"/>
	Agua Potable	<input type="checkbox"/>	Teléfono	<input type="checkbox"/>
	Internet	<input type="checkbox"/>	Alcantarillado	<input type="checkbox"/>

**Segmento:**

**Clasifique su negocio de acuerdo a su  criterio:**

Ferreterías

Local de puertas ventanas

Distribuidor de productos de madera

Otro (indique) .....

**Producto**

**¿Qué productos de madera comercializa?**

Barrederas	<input type="checkbox"/>	Planchas varios espesores /o diferente material	y	<input type="checkbox"/>
Perfiles varios	<input type="checkbox"/>	Tiras medias (mayor 20 x 20 y max 100 x 100)		<input type="checkbox"/>
Tiras delgadas (max 20 x 20)	<input type="checkbox"/>	Tiras medias (mayor a 100 x 100)		<input type="checkbox"/>
Tablones (ancho max 100 x espesor max 20 )	<input type="checkbox"/>	Tablones (ancho max 250 x espesor max 20 )		<input type="checkbox"/>
Otro.....				
.....				

**¿Cuál su criterio en cuanto a la durabilidad de productos derivados de madera?**

Barrederas:

---



---

Perfiles varios:

---



---

**Conoce los que es el WPC (Wood Plastic Reciclave Composites) y el uso que puede tener?**

Si   
 No

En caso de contestar **SI**, explique algunas aplicaciones que consideraría adecuado para su uso:

---

**¿Cuál es el medio de comunicación por el que le gustaría recibir información sobre el producto?**

Radio	<input type="checkbox"/>	Internet	<input type="checkbox"/>
Televisión	<input type="checkbox"/>	Redes sociales	<input type="checkbox"/>
Peródico local	<input type="checkbox"/>	Teléfono	<input type="checkbox"/>
Otro.....			

Agradecemos el tiempo y la oportunidad para servirles a ustedes.

**Anexo 4.** Informe de levantamiento de información

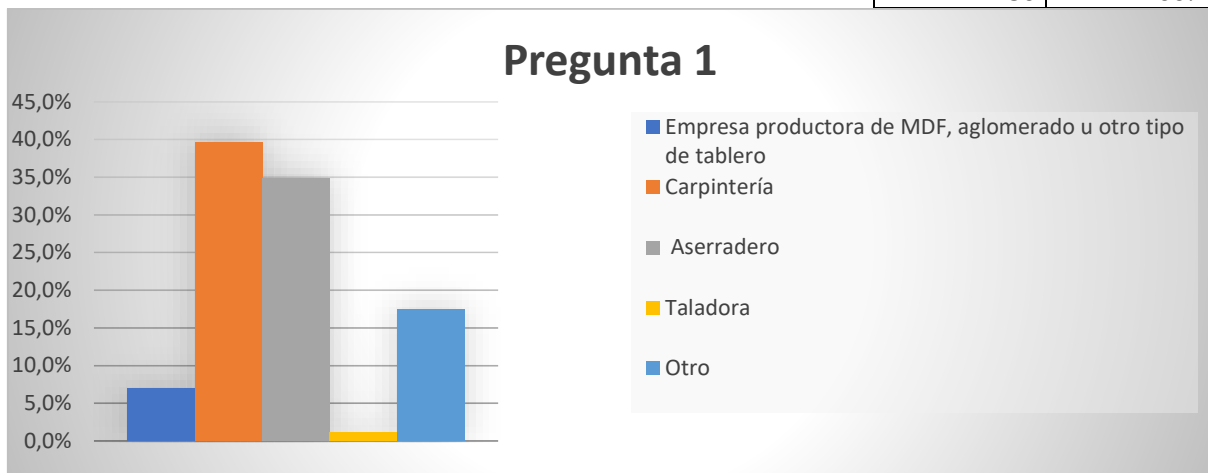
Para el levantamiento de información se realizaron encuestas en diferentes sectores de la provincia de Cotopaxi para determinar de donde se puede obtener la materia prima y en donde se puede comercializar, después de haber tabulado y analizado obtenemos los siguientes resultados de los tres tipos de encuestas. El primer modelo de encuesta direccionadas a determinar la disposición de materias primas existentes en el mercado local que permita abastecer la demanda en la producción de WPC y determinar la demanda de residuos de madera aserrada de pino y eucalipto. El segundo modelo de encuesta esta direccionada a determinar la disposición de materias primas existentes en el mercado local que permita abastecer la demanda en la producción de WPC y determinar la demanda del material plástico reciclado. El tercer modelo de encuesta esta direccionada a determinar la factibilidad para la integración de una empresa de elaboración de madera plástica WPC (Wood Plastic Composites) con la finalidad de sustituir las demandas de productos de madera en la Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

## Cuestionario 1

Numero de encuestas = 66

### 1. Clasifique su negocio de acuerdo a su criterio:

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1.	Empresa productora de MDF, aglomerado u otro tipo de tablero	6	7,0%
2.	Carpintería	34	39,5%
3.	Aserradero	30	34,9%
4.	Taladora	1	1,2%
5.	Otro	15	17,4%
		86	100%



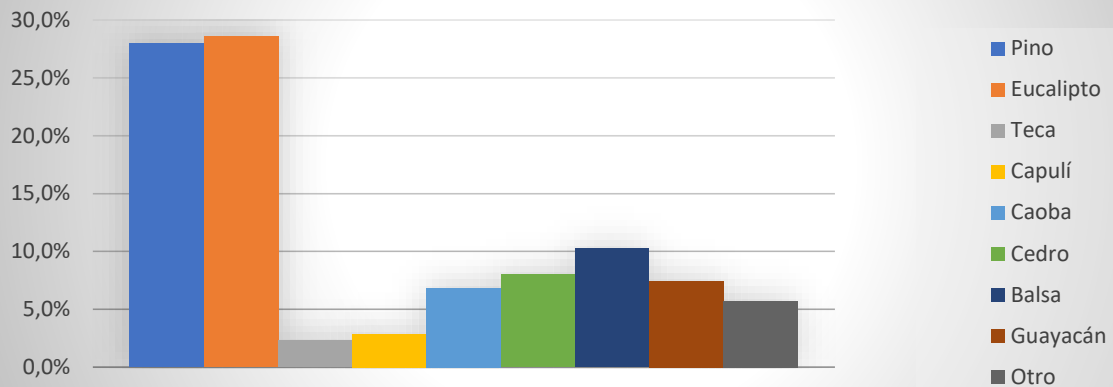
#### **Análisis e interpretación**

En la investigación se obtuvo que el 74,4% clasificaron sus negocios en carpinterías y aserraderos siendo estos los negocios más comunes que existen y donde se puede encontrar la materia prima.

### 2. Identifique el tipo de madera que generalmente usa:

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Pino	49	28,0%
2	Eucalipto	50	28,6%
3	Teca	4	2,3%
4	Capulí	5	2,9%
5	Caoba	12	6,9%
6	Cedro	14	8,0%
7	Balsa	18	10,3%
8	Guayacán	13	7,4%
9	Otro	10	5,7%
		175	100%

## Pregunta 2



### Análisis e Interpretación

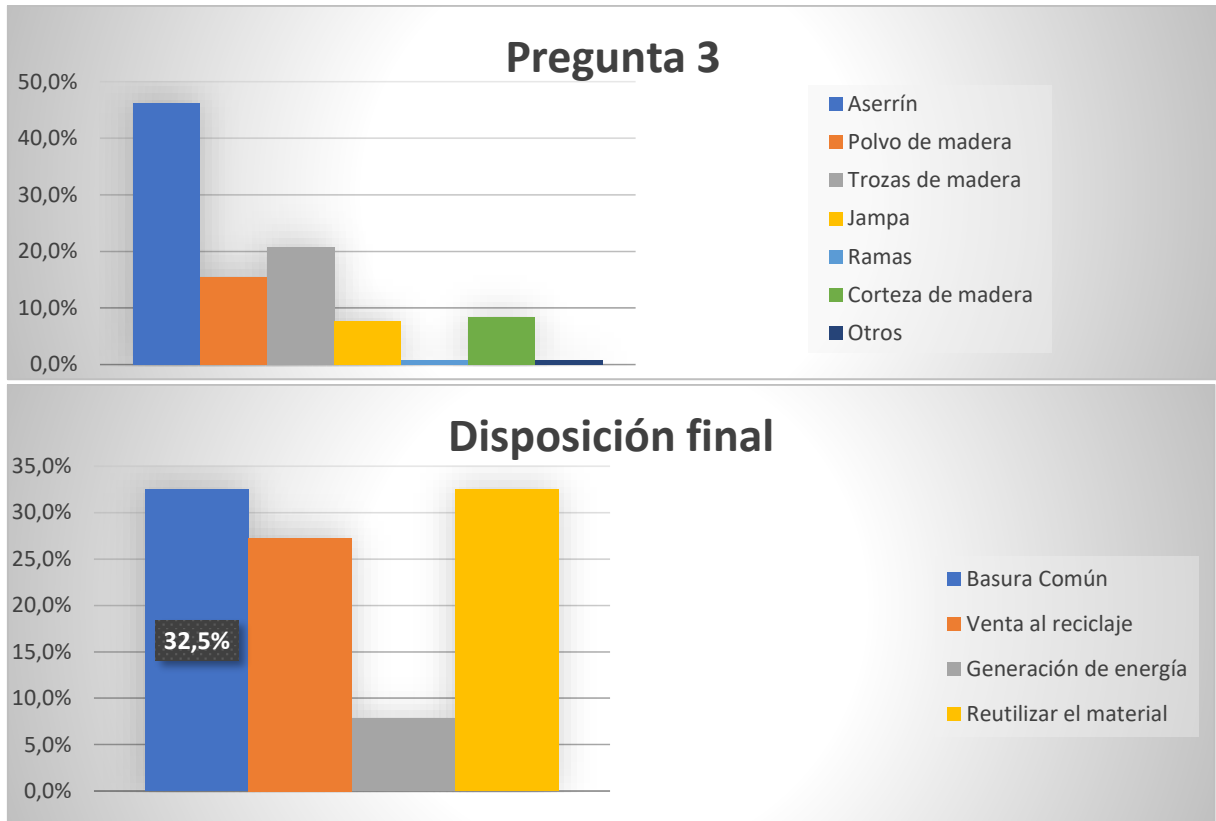
En los resultados de la investigación se obtiene que el 74,9% de las empresas trabajan con Eucalipto, pino, balsa y cedro. Siendo los más comunes el Eucalipto y el pino que crece en la sierra y la balsa y cedro que crece en la costa ecuatoriana.

### 3. ¿Qué productos de madera reciclados genera su negocio, y cuál es la disposición final que le da a la misma?

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Aserrín	60	46,2%
2	Polvo de madera	20	15,4%
3	Trozos de madera	27	20,8%
4	Jampa	10	7,7%
5	Ramas	1	0,8%
6	Corteza de madera	11	8,5%
7	Otros	1	0,8%
		130	100%

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Basura Común	25	32,5%
2	Venta al reciclaje	21	27,3%
3	Generación de energía	6	7,8%
4	Reutilizar el material	25	32,5%
		77	100%

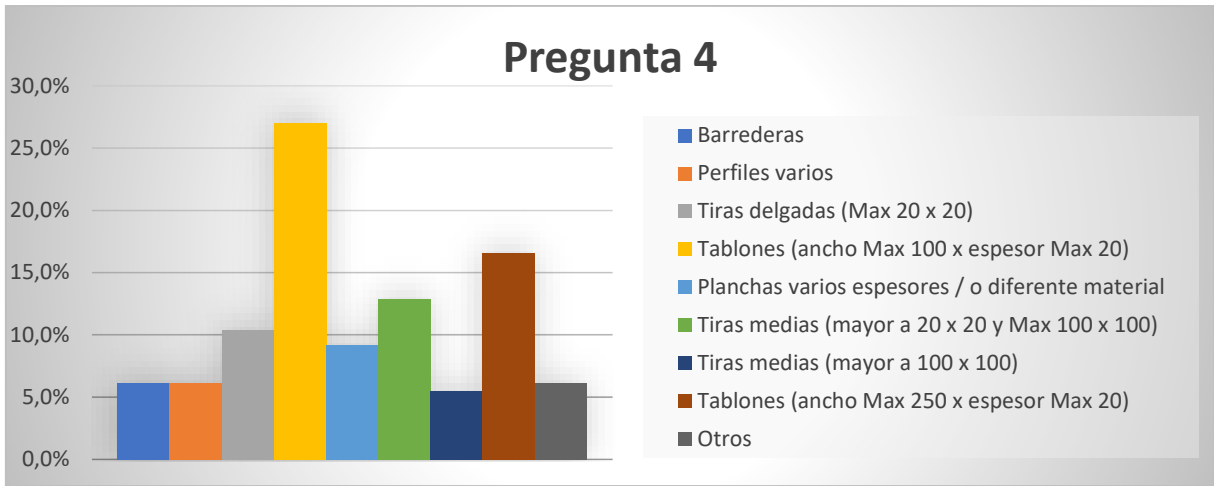
	Cantidad Kg/mes		Precio Usd/Kg	
	Promedio	Variabilidad o desviación estándar	Promedio	Variabilidad o desviación estándar
Aserrín	762,3	405,79953	0,31	0,2351762
Polvo de madera	576,2	133,05705	0,34	0,18092517
Trozos de madera	2246,2	86,16133	0,15	0,10663187
Jampa	1369,2	147,95313	0,22	0,15229722
Ramas	10,0		0,10	
Corteza de madera	36,1	4,9985714	0,31	0,18
Otros	1000,0		0,20	



<b>Análisis e Interpretación</b>	<p>En la investigación se obtuvo que el 81,4% de las empresas generan aserrín, trozas y polvo de madera y la disposición final que le dan a la misma el del 60% a basura común y venta del material por lo que sí se puede conseguir la materia prima en las empresas más comunes. La cantidad promedio por mes que genera cada empresa es. Aserrín: 762,3Kg/mes con variabilidad de 405, promedio de costo de 0,31 USD/Kg con variabilidad de 0,23. Trozas de madera: 2245,2Kg/mes con variabilidad de 86, promedio de costo de 0,15 USD/kg con variabilidad de 0,10 y Polvo de madera: 576,2Kg/mes con variabilidad de 133, promedio costo de 0,34 USD/Kg con variabilidad de 0,18.</p>
----------------------------------	---

#### 4. ¿Qué productos de madera procesada compra generalmente?

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Barrederas	10	6,1%
2	Perfiles varios	10	6,1%
3	Tiras delgadas (Max 20 x 20)	17	10,4%
4	Tablones (ancho Max 100 x espesor Max 20)	44	27,0%
5	Planchas varios espesores / o diferente material	15	9,2%
6	Tiras medias (mayor a 20 x 20 y Max 100 x 100)	21	12,9%
7	Tiras medias (mayor a 100 x 100)	9	5,5%
8	Tablones (ancho Max 250 x espesor Max 20)	27	16,6%
9	Otros	10	6,1%
		163	100%

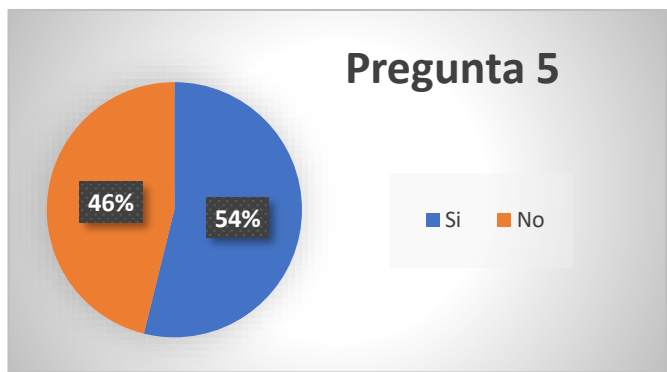


**Análisis e interpretación**

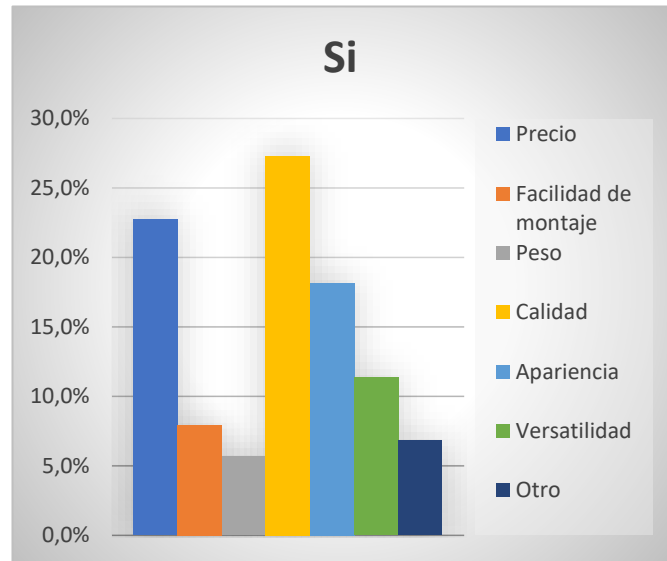
En la investigación se obtuvo que los productos que más compran con el 76,1% son: Tablones (ancho Max 100 x espesor Max 20), Tablones (ancho Max 250 x espesor Max 20), Tiras medias (mayor a 20 x 20 y Max 100 x 100), Tiras delgadas (Max 20 x 20), Planchas varios espesores / o diferente material. Esto se debe a que la mayoría de empresas son aserraderos y carpinterías.

**5. ¿Consideraría cambiar la madera por el WPRC? ¿Cuáles serían la principal razón que usted consideraría para cambiar la madera por un material sustituto WPRC?**

Opciones	Total C/U	Porcentaje
1 Si	35	53,8%
2 No	30	46,2%
	65	100%



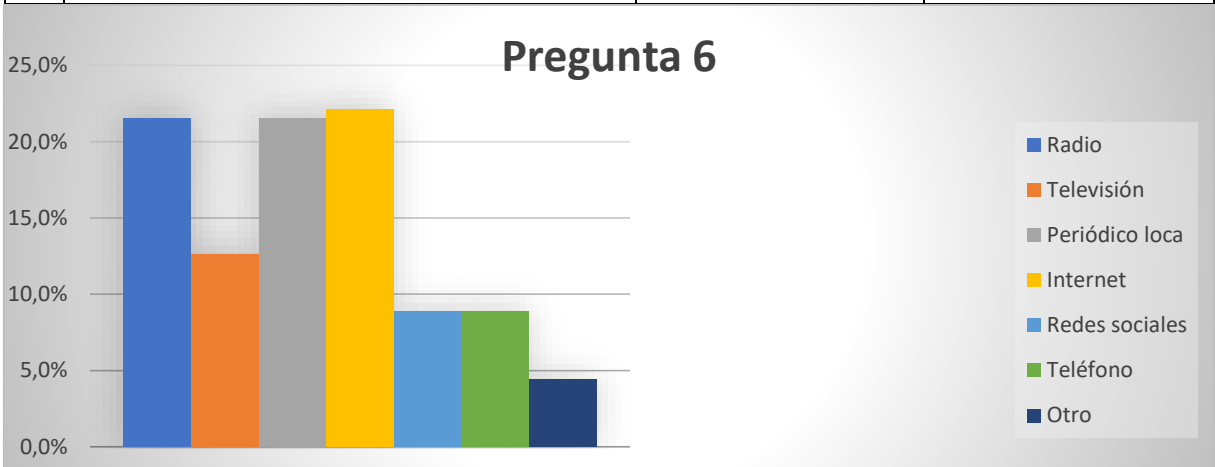
Si	Opciones	Total C/U	Porcentaje
1	Precio	20	22,7%
2	Facilidad de montaje	7	8,0%
3	Peso	5	5,7%
4	Calidad	24	27,3%
5	Apariencia	16	18,2%
6	Versatilidad	10	11,4%
7	Otro	6	6,8%
		88	100%



<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación se obtuvo que la mayoría de personas con el 53.8% respondieron que si cambiarían la madera por el WPC por motivos de mejor calidad, precio y apariencia. Por lo que si puede tener aceptación el WPC siendo un material innovador para las empresas.
----------------------------------	--

**6. ¿Cuál es el medio de comunicación por el que le gustaría recibir información sobre el producto?**

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Radio	34	21,5%
2	Televisión	20	12,7%
3	Periódico loco	34	21,5%
4	Internet	35	22,2%
5	Redes sociales	14	8,9%
6	Teléfono	14	8,9%
7	Otro	7	4,4%
		158	100%



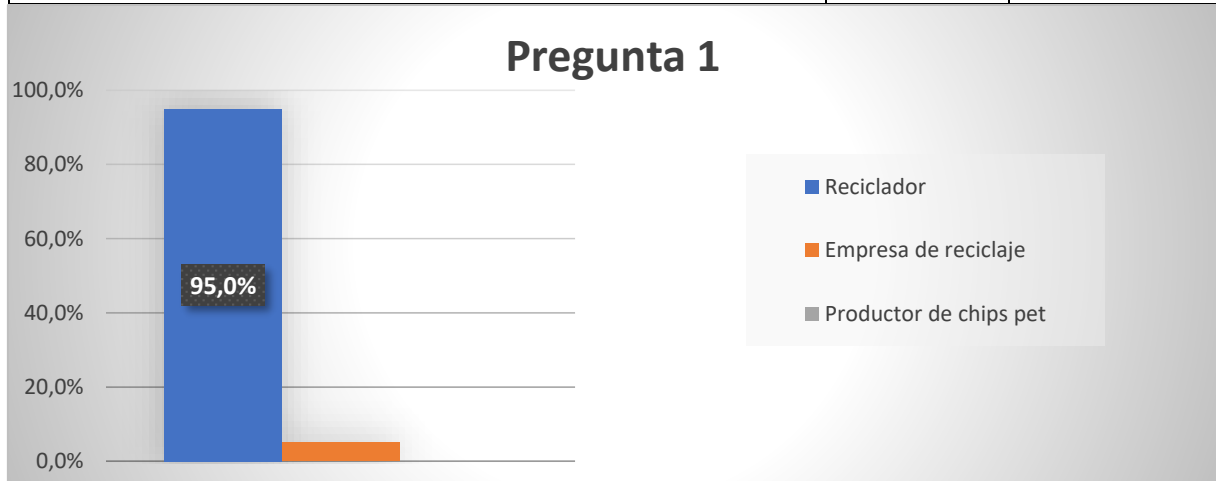
<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación se obtuvo que el 77,9% les gustaría recibir información por radio, periódico local e internet. Por lo que el producto puede tener acogida por muchas personas que utilizan estos medios de comunicación todos los días.
----------------------------------	---

## Cuestionario 2

**Numero de encuestas = 20**

**1. Clasifique su negocio de acuerdo a su criterio:**

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1.	Reciclador	19	95,0%
2.	Empresa de reciclaje	1	5,0%
3.	Productor de chips pet	0	0,0%
		20	100%

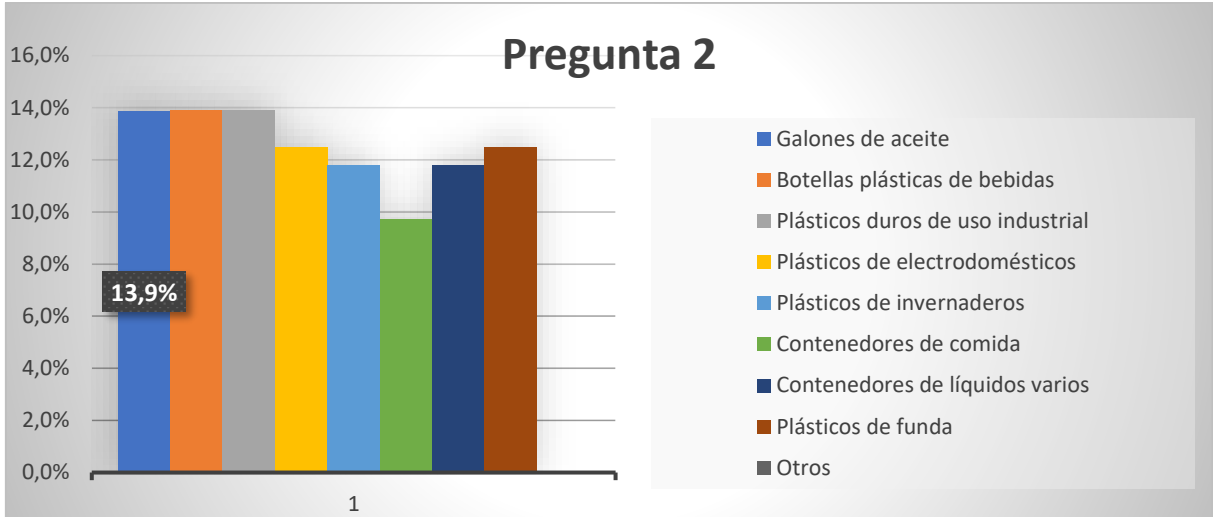


**Análisis e interpretación**

En la investigación se obtuvo que el 95% de negocios son recicladoras por lo que el material no se encuentra procesado y se debería llevar a cabo el proceso de peletización para obtener la materia prima.

**2. Identifique el tipo de plástico que generalmente recicla:**

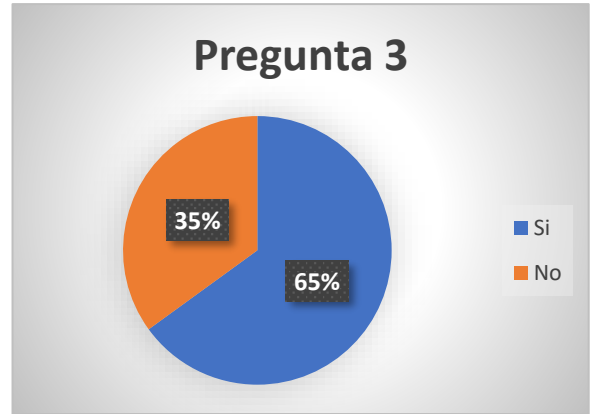
Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Galones de aceite	20	13,9%
2	Botellas plásticas de bebidas	20	13,9%
3	Plásticos duros de uso industrial	20	13,9%
4	Plásticos de electrodomésticos	18	12,5%
5	Plásticos de invernaderos	17	11,8%
6	Contenedores de comida	14	9,7%
7	Contenedores de líquidos varios	17	11,8%
8	Plásticos de funda	18	12,5%
9	Otros	0	0,0%
		144	100%



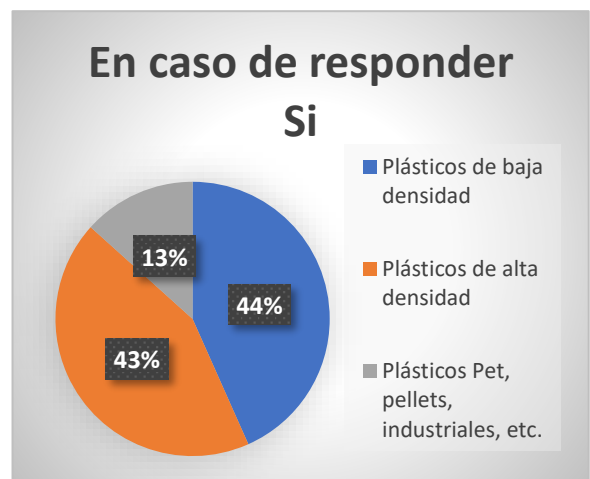
<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación se obtuvo que el 78,5% de negocios recicla: galones de aceite, botellas plásticas, plásticos duros y plásticos de electrodomésticos, plásticos de funda y plásticos de invernaderos. Por lo que se puede separar por Polietileno de baja y alta densidad.
----------------------------------	---

**3. ¿Clasifica los productos reciclados que genera su negocio, y cuál es la disposición final que le da a la misma?**

Opciones	Total C/U	Porcentaje
1 Si	13	65,0%
2 No	7	35,0%
	20	100%



Si	Opciones	Total, C/U	Porcentaje
1	Plásticos de baja densidad	13	43,3%
2	Plásticos de alta densidad	13	43,3%
3	Plásticos Pet, pellets, industriales, etc.	4	13,3%
		30	100%



Disposición final	Opciones	Total C/U	Porcentaje
1	Venta al peso del material reciclado	16	40,0%
2	Procesamiento para elaboración de chips	15	37,5%
3	Procesamiento para inyección	2	5,0%
4	Reutilización	7	17,5%
		40	100%

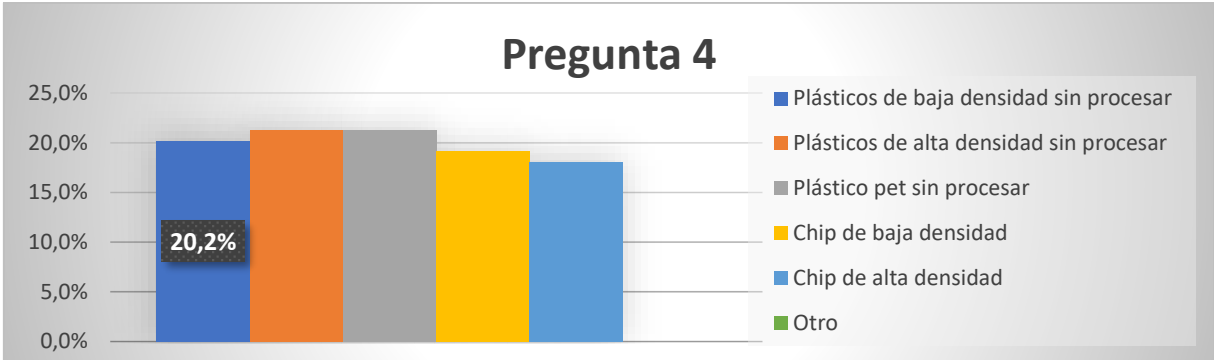


Análisis e interpretación	En la investigación se tiene que el 65% de los negocios si clasifica sus productos siendo el 86,6% plásticos de baja y alta densidad y dando como disposición final el 77,5% a la venta por peso del material y procesamiento para elaboración de chips. Por lo que se tiene que realizar el proceso de peletización del material.
---------------------------	--

**4. ¿Qué productos reciclados vende, y cuál es la cantidad promedio por mes y precio de venta?**

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Plásticos de baja densidad sin procesar	19	21,2%
2	Plásticos de alta densidad sin procesar	20	21,3%
3	Plástico pet sin procesar	20	20,3%
4	Chip de baja densidad	18	19,1%
5	Chip de alta densidad	17	18,1%
6	Otro	0	0,0%
		94	100%

	Cantidad Kg/mes		Precio Usd/Kg	
	Promedio	Variabilidad o desviación estándar	Promedio	Variabilidad o desviación estándar
Plásticos de baja densidad sin procesar	1252,6	786,00	0,21	0,21
Plásticos de alta densidad sin procesar	1116,3	228,90	0,38	0,10
Plástico pet sin procesar	875,5	1772,90	0,09	0,07
Chip de baja densidad	55,6		0,10	
Chip de alta densidad	0,6		0,10	
Otro				

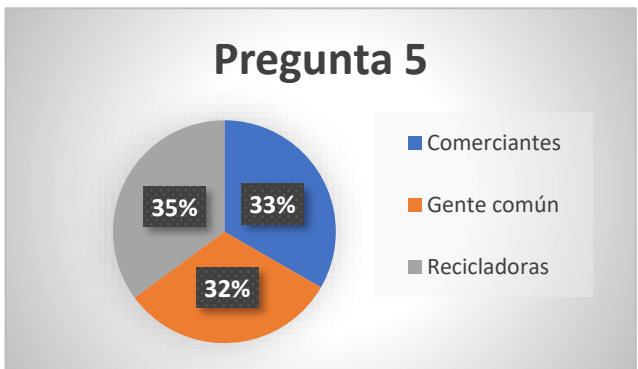


**Análisis e interpretación**

En la investigación se obtuvo que el 62,8% de las empresas venden plásticos sin procesar de alta densidad, baja densidad y pet y solo el 37,2% procesan y clasifican el material en chip de baja densidad y chip de alta densidad. Por lo que son pocas las empresas que se dedican a procesar el plástico. Las empresas en promedio venden Plásticos de alta densidad sin procesar: 1116,3Kg/mes con variabilidad de 228,9, con precio de venta de 0,38 USD/Kg con variabilidad de 0,10. Plástico Pet sin procesar: 875,5Kg/mes con variabilidad de 1772,9, con precio de venta de 0,09m USD/Kg con variabilidad de 0,07. Plásticos de baja densidad sin procesar: 1252,6Kg/mes con variabilidad de 786, con precio de venta de 0,21USD/Kg y variabilidad de 0,21.

**5. ¿Dónde y a quienes compra su producto?**

Opciones	Total C/U	Porcentaje
1 Comerciantes	19	33,3%
2 Gente común	18	31,6%
3 Recicladoras	20	35,1%
	57	100%

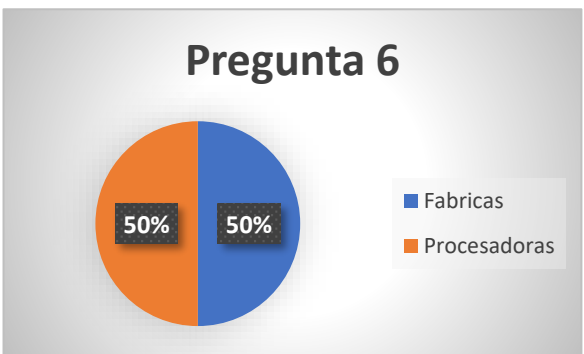


**Análisis e interpretación**

En la investigación se obtuvo que el 68,4% de los negocios compran el producto a recicladoras y comerciantes por lo que se entiende que el material se encuentra sin procesar y se debe llevar a cabo el proceso de peletización.

**6. ¿Dónde y a quienes vende su producto?**

Opciones	Total C/U	Porcentaje
1 Fabricas	20	50,0%
3 Procesadoras	20	50,0%
	40	100%



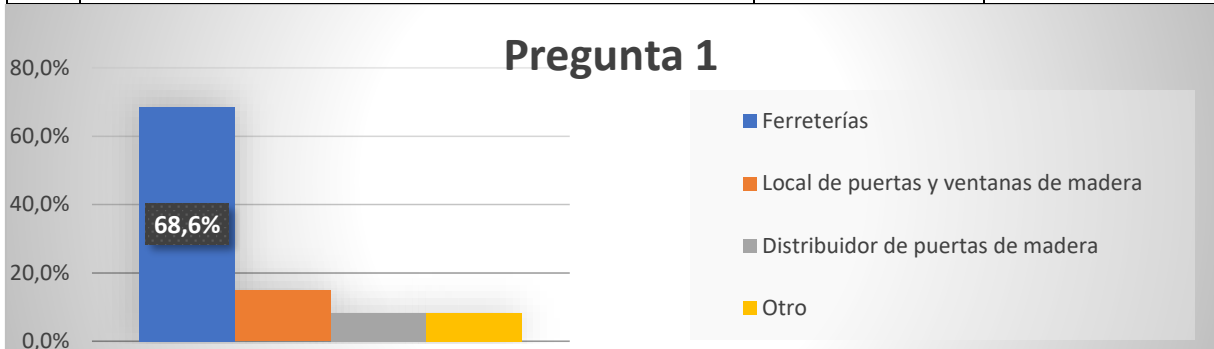
<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación de obtuvo que los negocios venden en iguales porcentajes 50% fábricas y 50% procesadoras donde se puede decir que las fábricas que compran este material tienen procesadoras ya que los vendedores tienen el productor sin procesar.
----------------------------------	--

## Cuestionario 3

**Numero de encuestas = 121**

### 1. Clasifique su negocio de acuerdo a su criterio:

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1.	Ferreterías	83	68,6%
2.	Local de puertas y ventanas de madera	18	14,9%
3.	Distribuidor de puertas de madera	10	8,3%
4.	Otro	10	8,3%
		121	100%

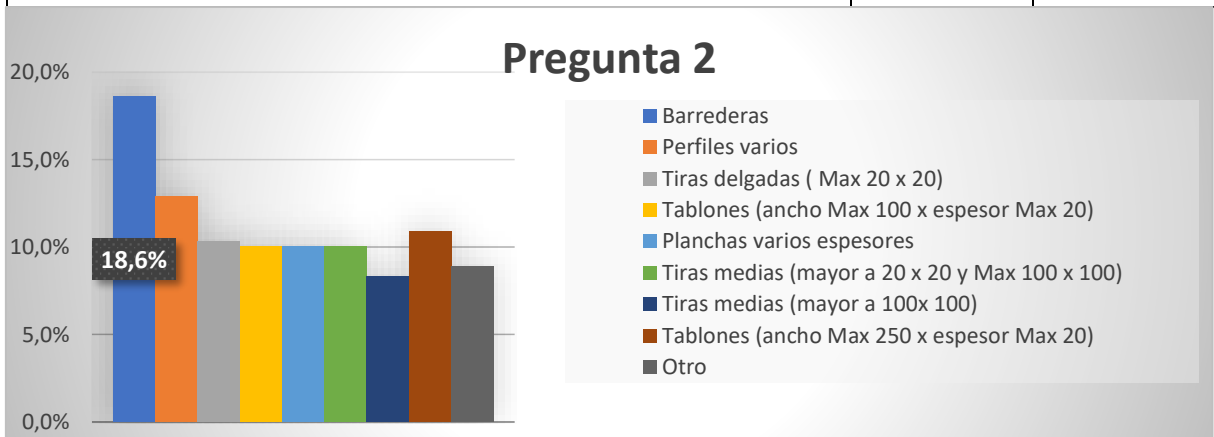


#### Análisis e interpretación

En la investigación se obtuvo que el 68,6% son ferreterías ya que son los negocios más comunes donde se comercializa todo tipos de materiales para la construcción y terminados para casas, oficinas, edificios, etc.

### 2. ¿Qué productos de madera comercializa?

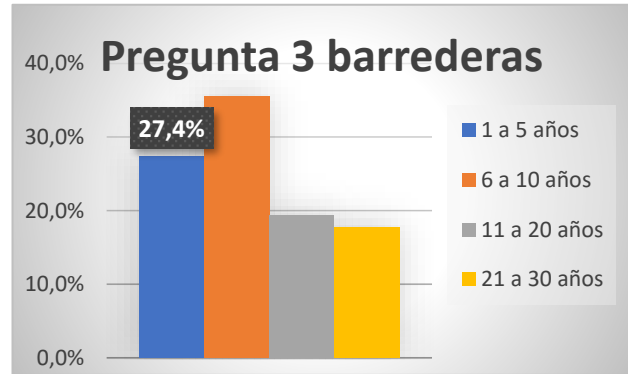
Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Barrederas	65	18,6%
2	Perfiles varios	45	12,9%
3	Tiras delgadas (Max 20 x 20)	36	10,3%
4	Tablones (ancho Max 100 x espesor Max 20)	35	10,0%
5	Planchas varios espesores	35	10,0%
6	Tiras medias (mayor a 20 x 20 y Max 100 x 100)	35	10,0%
7	Tiras medias (mayor a 100x 100)	29	8,3%
8	Tablones (ancho Max 250 x espesor Max 20)	38	10,9%
9	Otro	31	8,9%
		349	100%



<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación se obtuvo que el 82,7% de negocios comercializa barrederas, perfiles varios, tablones y tiras de diferente tamaño. Esto se debe a que el negocio más común son las ferreterías y los tamaños varían a la necesidad del cliente.
----------------------------------	---

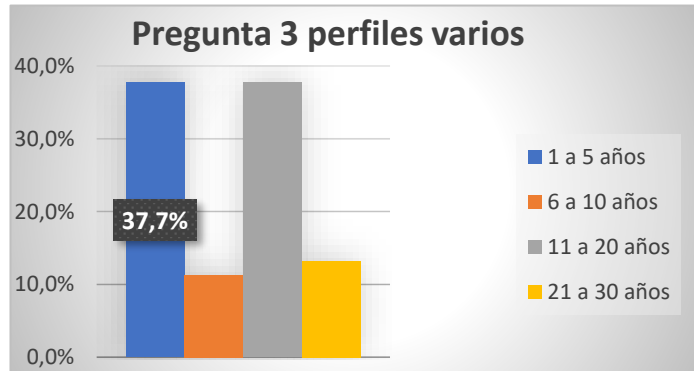
### 3. ¿Cuál su criterio en cuanto a la durabilidad de productos derivados de madera?

Barrederas			
	Opciones	Total C/U	Porcentaje
1	1 a 5 años	17	27,4%
2	6 a 10 años	22	35,5%
3	11 a 20 años	12	19,4%
4	21 a 30 años	11	17,7%
		62	100%



x	xf
3	51
8	176
15,5	186
25,5	280,5
suma	693,5
Media	11,185
Durabilidad	11,185

Perfiles varios			
	Opciones	Total C/U	Porcentaje
1	1 a 5 años	20	37,7%
2	6 a 10 años	6	11,3%
3	11 a 20 años	20	37,7%
4	21 a 30 años	7	13,2%
		53	100%

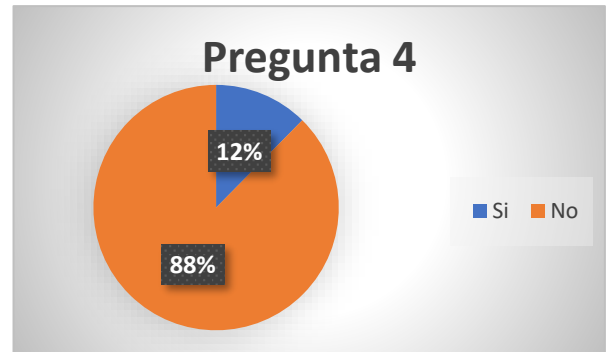


x	xf
3	60
8	48
15,5	310
25,5	178,5
suma	596,5
Media	11,255
Durabilidad	11,255

<b>Análisis e interpretación</b>	En este punto de la investigación se obtienen diferentes criterios de la durabilidad de la madera por lo que se sacó un promedio de durabilidad el cual es de 11 años para las barrederas y perfiles varios.
----------------------------------	--

**4. ¿Conoce lo que es el WPRC (Wood Plástica Reciclaje Composites) y el uso que puede tener?**

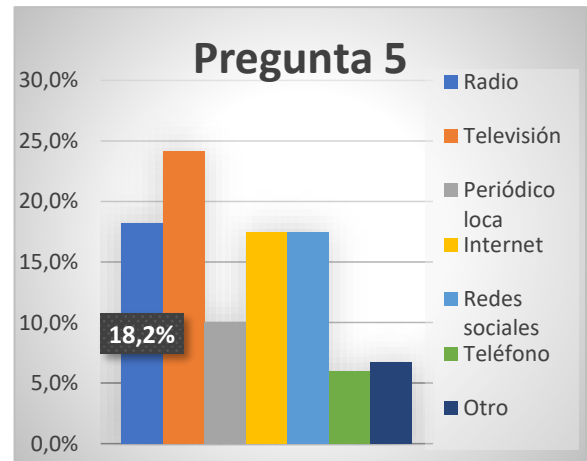
Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Si	15	12,4%
2	No	106	87,6%
		121	100%



<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación se obtuvo que la mayoría con el 87,6% de negocios desconocen el WPC ya que no es muy común en el país, por lo que se debería comercializar para que las empresas conozcan las propiedades del material y como es una mejor alternativa a la madera.
----------------------------------	---

**5. ¿Cuál es el medio de comunicación por el que le gustaría recibir información sobre el producto?**

Opciones		Total C/U	Porcentaje
1	Radio	49	18,2%
2	Televisión	65	24,2%
3	Periódico local	27	10,0%
4	Internet	47	17,5%
5	Redes sociales	47	17,5%
6	Teléfono	16	5,9%
7	Otro	18	6,7%
		269	100%



<b>Análisis e interpretación</b>	En la investigación se obtuvo que el 77.4% de negocios les gustaría recibir información del WPC por televisión, radio, internet y redes sociales. Siendo estos medios los más comunes y donde mucha más gente puede recibir la información.
----------------------------------	---

**Anexo 5.** Informe de ensayos de tracción emitido por la Escuela Politécnica Nacional

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y  
BIOTECNOLOGÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253, Edificio N°8  
Persona de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas (Responsable de atención al cliente y recepción de muestras)  
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2126 E-mail: [info.ciap@epn.edu.ec](mailto:info.ciap@epn.edu.ec)  
Quito- Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS****ORDEN DC-OT0005-2020**

<b>Proforma EPN:</b>	DC-P0754-2020
<b>Empresa solicitante:</b>	N/A
<b>Persona de contacto:</b>	Dennis Iza
<b>Dirección:</b>	Latacunga
<b>Teléfonos de contacto:</b>	0998371656
<b>Correo electrónico:</b>	dennis.iza2710@utc.edu.ec
<b>Fecha de recepción del/los ítem(s) de ensayo:</b>	06-01-2019
<b>Fecha de emisión del informe:</b>	13-01-2020
<b>Análisis solicitados</b>	Tracción deformación en un sentido

Los resultados que constan en el presente informe conciernen exclusivamente a los ítems de ensayo entregados al CIAP y no se extienden a lotes de producción o marcas. La reproducción total o parcial de este informe se la hará previa la autorización expresa del Director del CIAP o el Responsable del Área de Polímeros.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y**  
**BIOTECNOLOGÍA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253, Edificio N°8  
 Persona de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas (Responsable de atención al cliente y recepción de muestras)  
 Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2126. E-mail: [info.ciap@epn.edu.ec](mailto:info.ciap@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

**ORDEN: DC-OT0005-2020**

**IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)**

No. muestra	ID Muestra	Descripción de muestra	Servicio/Analito	Laboratorio
1	DC-MU5569	MUESTRA DE POLIETILENO MÁS ASERRIN 50/50	Tracción deformación en un sentido	CIAP
2	DC-MU5570	MUESTRA DE POLIETILENO MÁS ASERRIN 60/40	Tracción deformación en un sentido	CIAP
3	DC-MU5571	MUESTRA DE POLIETILENO MÁS ASERRIN MÁS ADITIVO 50/40/10	Tracción deformación en un sentido	CIAP

### 1. Ensayo tracción- deformación

#### Metodología:

- ✓ Se procedió de acuerdo con las condiciones de ensayo estipuladas en la norma ASTM D 638-14 "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics".

#### Equipos:

- ✓ Máquina universal de ensayos
- ✓ Medidor de espesores con una apreciación de 0,001 mm

#### Condiciones del ensayo:

- ✓ Velocidad: 5 mm/min
- ✓ Temperatura de ensayo: 19° C



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y  
BIOTECNOLOGÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253, Edificio N°8  
Persona de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas (Responsable de atención al cliente y recepción de muestras)  
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2126. E-mail: [info.ciap@epn.edu.ec](mailto:info.ciap@epn.edu.ec)  
Quito- Ecuador

**Resultados:**

**Identificación de origen de la muestra:**

**MUESTRA DE POLIETILENO MÁS ASERRIN 50/50**

Propiedad	Unidad	Método de ensayo	Valor	Desviación estándar
Tracción a rotura	MPa	ASTM D638	4,12	0,41
Elongación a rotura	%	ASTM D638	6,77	0,87

**Identificación de origen de la muestra:**

**MUESTRA DE POLIETILENO MÁS ASERRIN 60/40**

Propiedad	Unidad	Método de ensayo	Valor	Desviación estándar
Tracción a rotura	MPa	ASTM D638	6,86	0,67
Elongación a rotura	%	ASTM D638	10,5	2,52

**Identificación de origen de la muestra:**

**MUESTRA DE POLIETILENO MÁS ASERRIN MÁS ADITIVO 50/40/10**

Propiedad	Unidad	Método de ensayo	Valor	Desviación estándar
Tracción a rotura	MPa	ASTM D638	8,12	1,77
Elongación a rotura	%	ASTM D638	46,8	8,29

**PROFESIONAL RESPONSABLE  
DEL ANÁLISIS**

**Analista**

**Tlga. Elizabeth Venegas**

**AUTORIDAD AUTENTICADORA**

**Responsable del Área de Polímeros**

**Ing. Francisco Quiroz M.Sc.**



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y  
BIOTECNOLOGÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253, Edificio N°8  
Persona de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas (Responsable de atención al cliente y recepción de muestras)  
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2126. E-mail: [info.ciap@epn.edu.ec](mailto:info.ciap@epn.edu.ec)  
Quito- Ecuador

---

### QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe u otro aspecto, a través del Responsable del Área de Polímeros ([ciap@epn.edu.ec](mailto:ciap@epn.edu.ec)), hasta 8 días hábiles después de la entrega del informe. Pasado este tiempo se entenderá que el cliente está conforme con los resultados del informe y se desecharán las muestras, en caso de no ser retirados por el cliente.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al CIAP, pero sí se responsabiliza de las muestras recibidas en las condiciones tal como las entrega el cliente.

**Anexo 6.** Informe de resultados del P5M5 mecanizados emitido por la Escuela Politécnica Nacional

miércoles, 08 de enero de 2020

***Instron Applications Laboratory***

Descripción del método

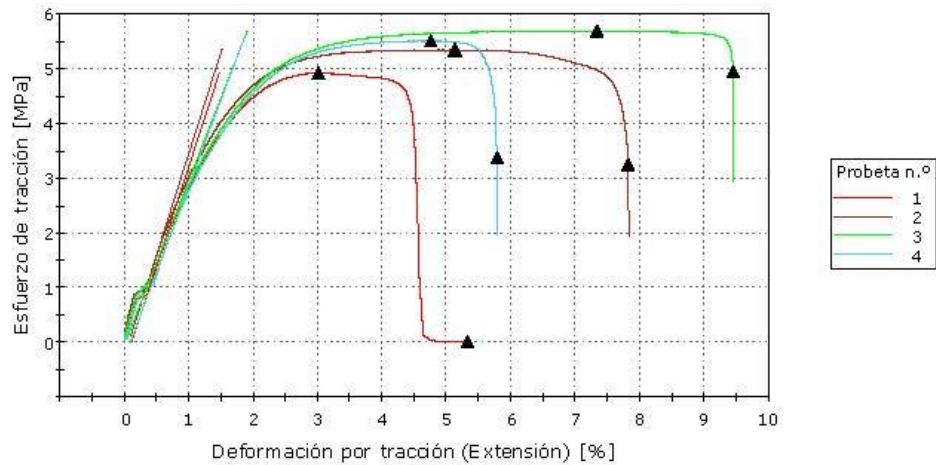
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	5,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



miércoles, 08 de enero de 2020

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 4)



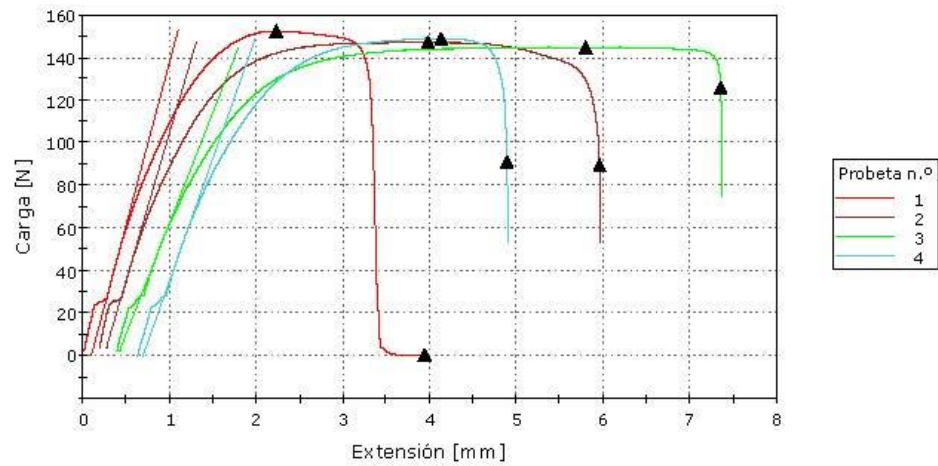
	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	4,92	4,92	3,01	0,02282	5,32	361	281	6,61	4,69
2	5,34	5,34	5,13	3,24	7,81	370	302	6,22	4,43
3	5,68	5,68	7,33	4,93	9,44	301	286	6,00	4,25
4	5,50	5,50	4,75	3,37	5,78	314	276	6,00	4,50
Media	5,36	5,36	5,06	2,89	7,09	337	286	6,21	4,47
S.D.	0,325	0,325	1,776	2,062	1,905	34,5	11,427	0,288	0,182



miércoles, 08 de enero de 2020

Gráfico 2

Probeta 1 a 4



Fecha del último ensayo: miércoles, 08 de enero de 2020

Probetas ensayadas: 4

**Anexo 7.** Informe de resultados del P6M4 mecanizados emitido por la Escuela Politécnica Nacional

miércoles, 08 de enero de 2020

***Instron Applications Laboratory***

Descripción del método

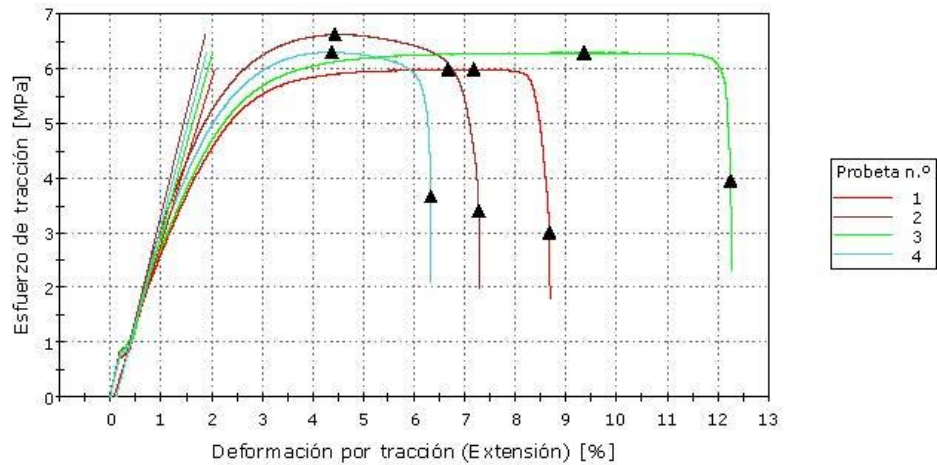
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	5,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



miércoles, 08 de enero de 2020

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 4)



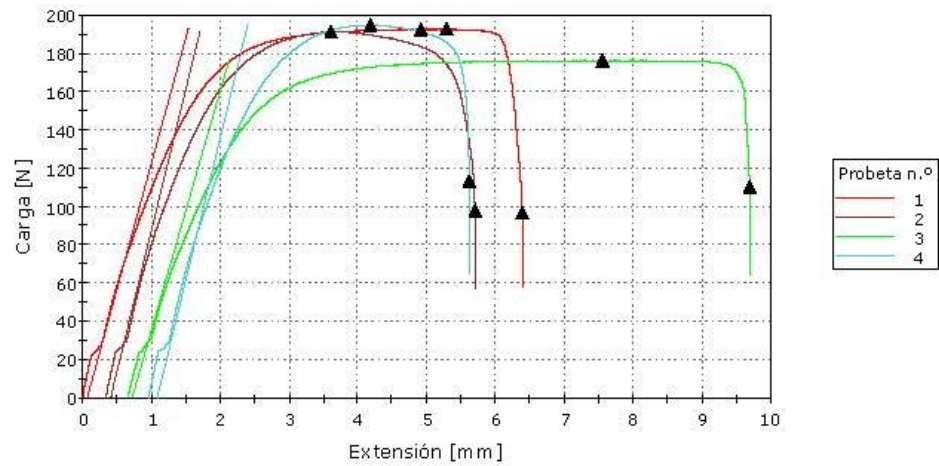
	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	5,98	5,98	6,67	3,01	8,66	300	262	6,67	4,82
2	6,62	6,62	4,43	3,40	7,27	376	309	6,00	4,81
3	6,29	6,29	9,34	3,95	12,2	329	272	6,00	4,67
4	6,30	6,30	4,37	3,67	6,32	353	290	6,51	4,75
Media	6,30	6,30	6,20	3,51	8,62	339	283	6,30	4,76
S.D.	0,259	0,259	2,350	0,397	2,596	32,7	20,518	0,347	0,069



miércoles, 08 de enero de 2020

Gráfico 2

Probeta 1 a 4



Fecha del último ensayo: miércoles, 08 de enero de 2020

Probetas ensayadas: 4

**Anexo 8.** Informe de resultados del P5M4A1 mecanizados emitido por la Escuela Politécnica Nacional

miércoles, 08 de enero de 2020

***Instron Applications Laboratory***

Descripción del método

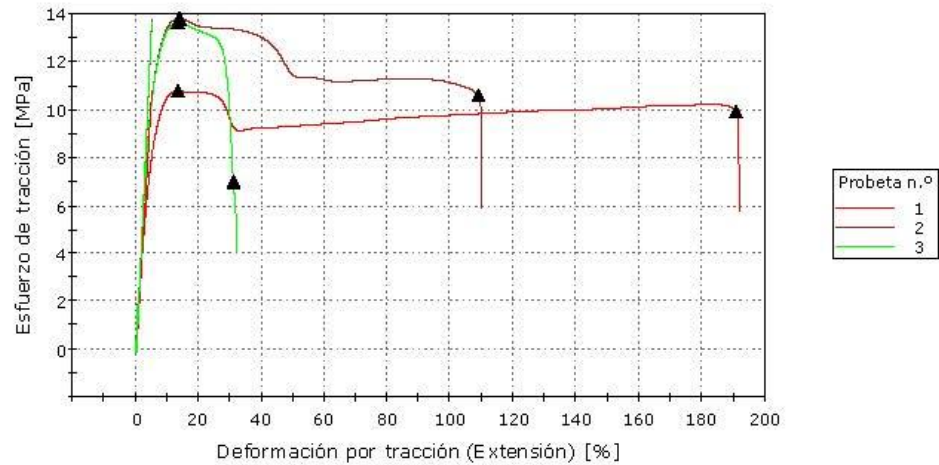
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	500,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



miércoles, 08 de enero de 2020

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 3)



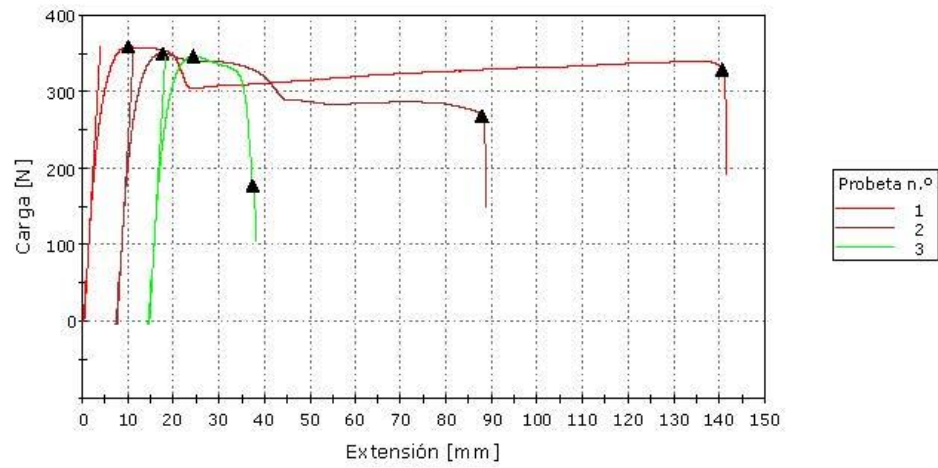
	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	10,8	10,8	13,6	9,90	191	222	167	6,00	5,54
2	13,8	13,8	14,0	10,6	109	286	223	6,00	4,23
3	13,6	13,6	13,6	6,99	31,1	289	213	6,00	4,23
Media	12,7	12,7	13,7	9,15	110	266	201	6,00	4,67
S.D.	1,685	1,685	0,251	1,905	79,730	37,4	29,510	0,000	0,756



miércoles, 08 de enero de 2020

Gráfico 2

Probeta 1 a 3



Fecha del último ensayo: miércoles, 08 de enero de 2020

Probetas ensayadas: 3

**Anexo 9.** Informe de resultados del P5M5 corte laser emitido por la Escuela Politécnica Nacional

jueves, 09 de enero de 2020

***Instron Applications Laboratory***

Descripción del método

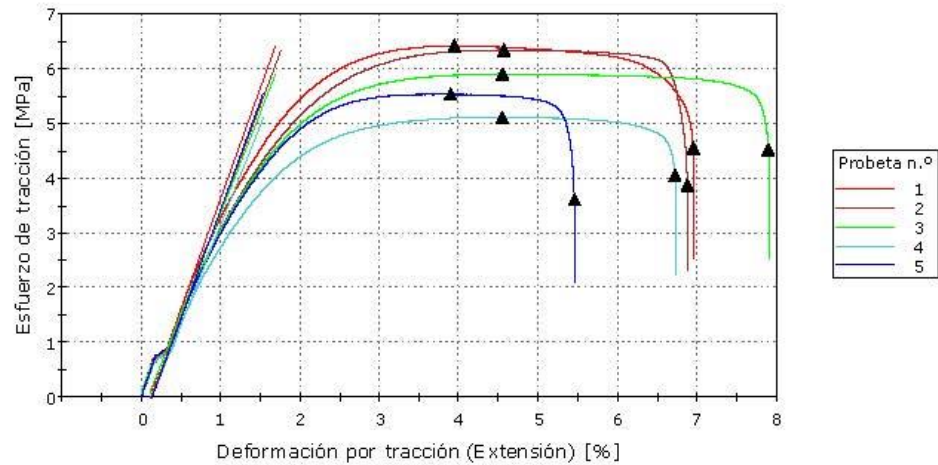
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	5,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 09 de enero de 2020

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)

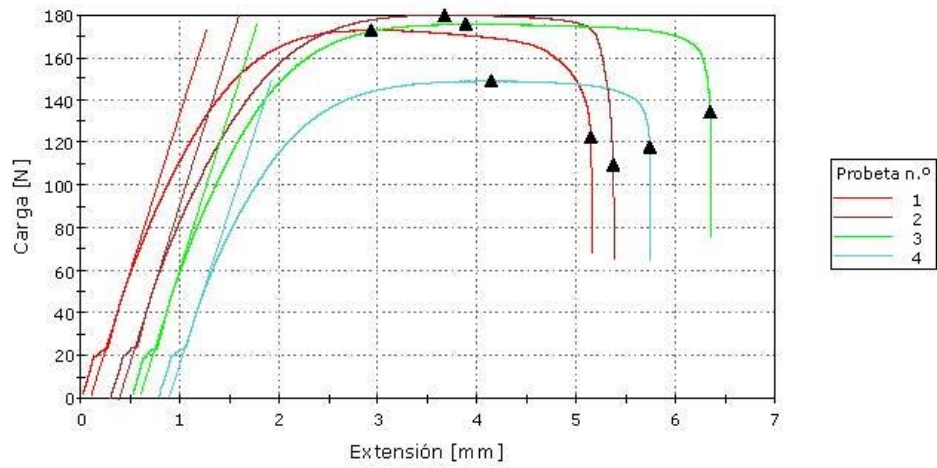


	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%] [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	6,41	6,41	3,94	4,55	6,94	403	328	6,00	4,49
2	6,33	6,33	4,57	3,87	6,87	386	307	6,00	4,73
3	5,90	5,90	4,54	4,52	7,89	367	304	6,00	4,96
4	5,11	5,11	4,54	4,05	6,71	363	275	6,00	4,86
5	5,53	5,53	3,89	3,62	5,45	398	300	6,00	4,18
Media	5,86	5,86	4,30	4,12	6,77	383	303	6,00	4,64
S.D.	0,550	0,550	0,348	0,409	0,872	17,8	19,276	0,000	0,313

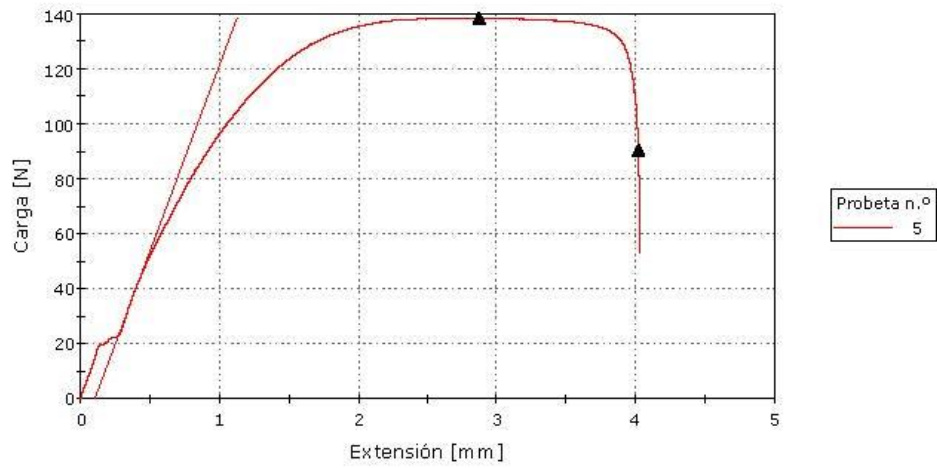


Gráfico 2

Probeta 1 a 4



Probeta 5 a 5



**Anexo 10.** Informe de resultados del P6M4 corte laser emitido por la Escuela Politécnica Nacional

jueves, 09 de enero de 2020

***Instron Applications Laboratory***

Descripción del método

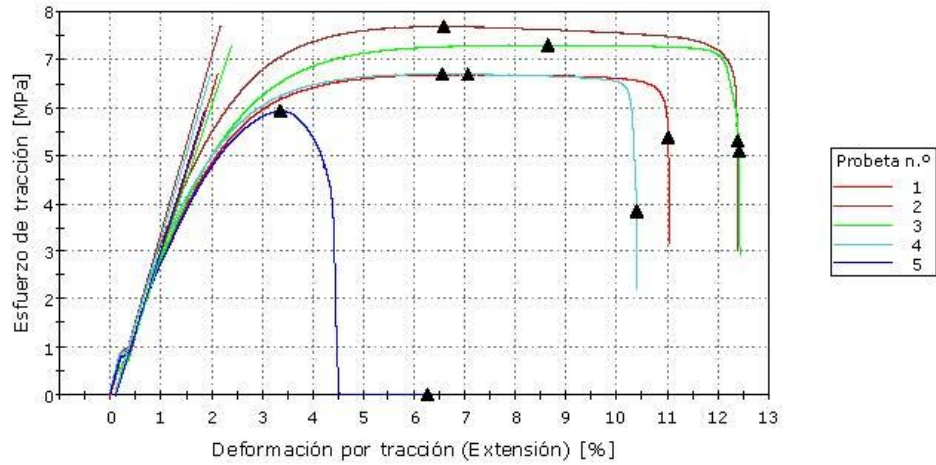
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	5,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 09 de enero de 2020

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)

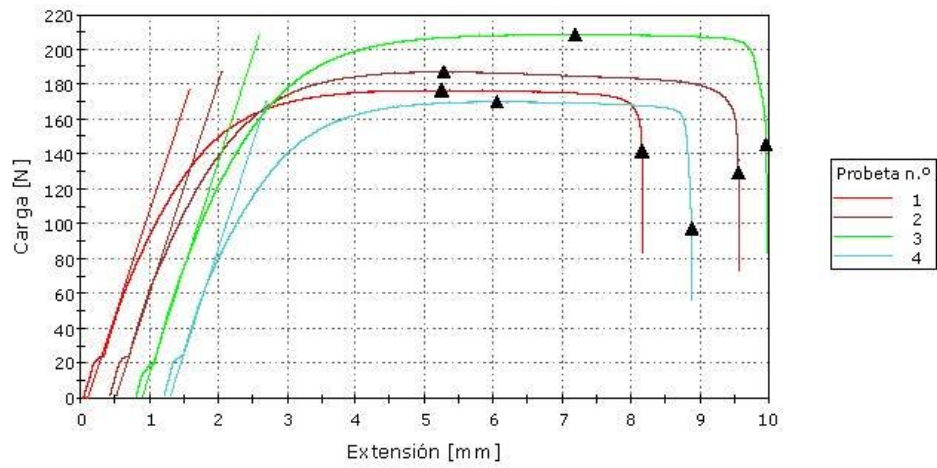


	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	6,69	6,69	7,06	5,38	11,0	333	281	6,00	4,40
2	7,69	7,69	6,58	5,31	12,4	367	318	6,00	4,06
3	7,30	7,30	8,64	5,10	12,4	315	283	6,00	4,76
4	6,70	6,70	6,55	3,85	10,4	351	302	6,00	4,23
5	5,93	5,93	3,35	0,03385	6,25	338	277	6,00	4,41
Media	6,86	6,86	6,44	3,93	10,5	341	292	6,00	4,37
S.D.	0,672	0,672	1,921	2,266	2,523	19,6	17,307	0,000	0,260

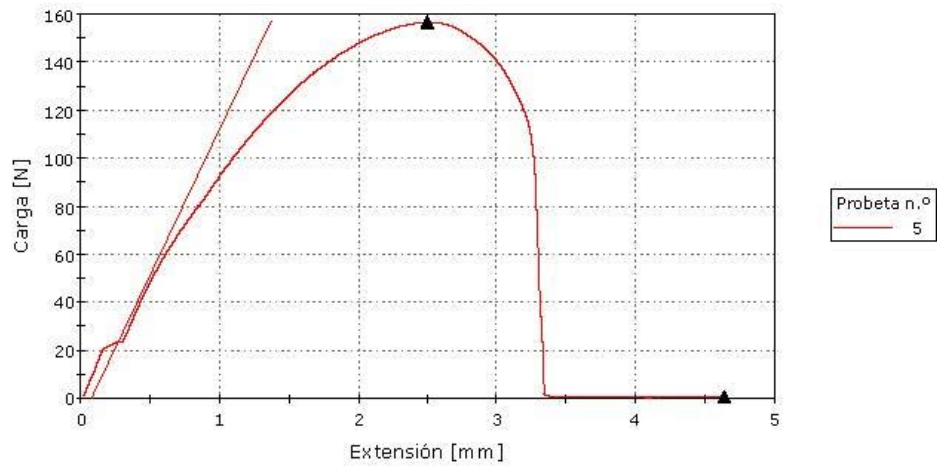


Gráfico 2

Probeta 1 a 4



Probeta 5 a 5



**Anexo 11.** Informe de resultados del P5M4A1 corte laser emitido por la Escuela Politécnica Nacional

jueves, 09 de enero de 2020

***Instron Applications Laboratory***

Descripción del método

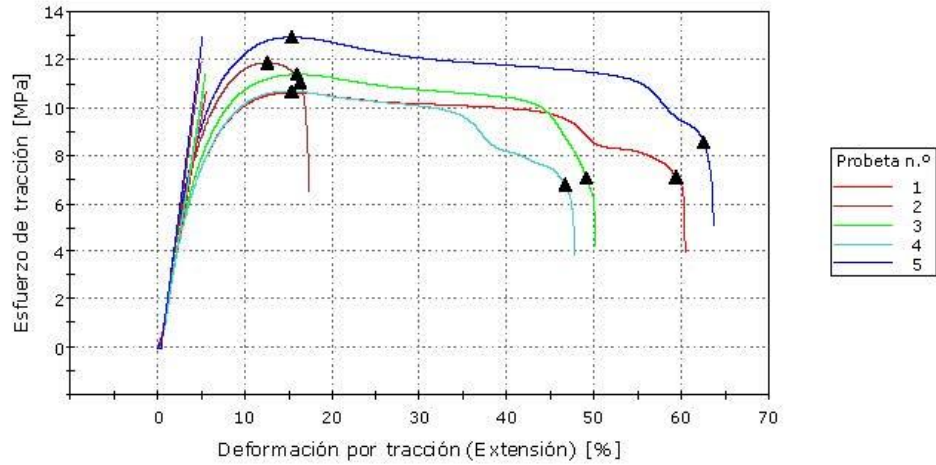
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type 1
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	500,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 09 de enero de 2020

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



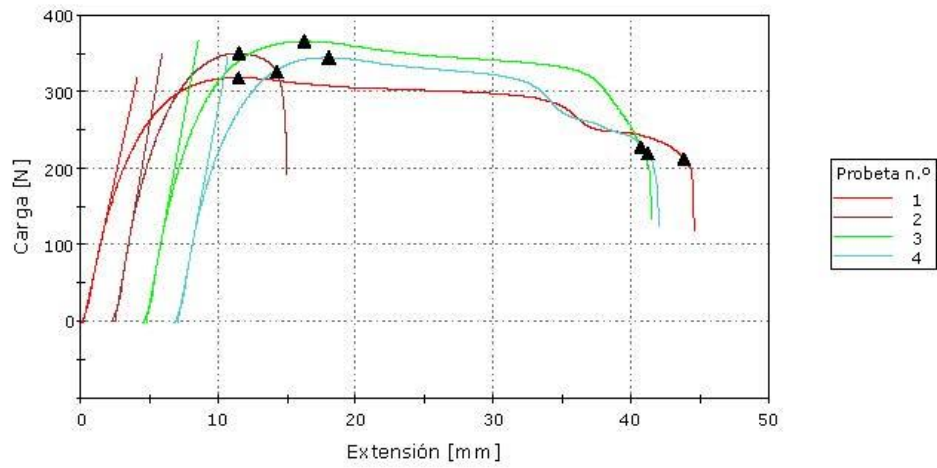
	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%] [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	10,6	10,6	15,5	7,11	59,4	200	139	6,00	4,98
2	11,9	11,9	12,6	11,1	16,3	256	144	6,00	4,91
3	11,4	11,4	16,0	7,08	49,1	223	120	6,00	5,35
4	10,7	10,7	15,3	6,80	46,7	217	115	6,00	5,37
5	12,9	12,9	15,4	8,56	62,5	273	143	6,00	4,76
Media	11,5	11,5	14,9	8,12	46,8	234	132	6,00	5,07
S.D.	0,949	0,949	1,346	1,777	18,297	29,8	13,606	0,000	0,273



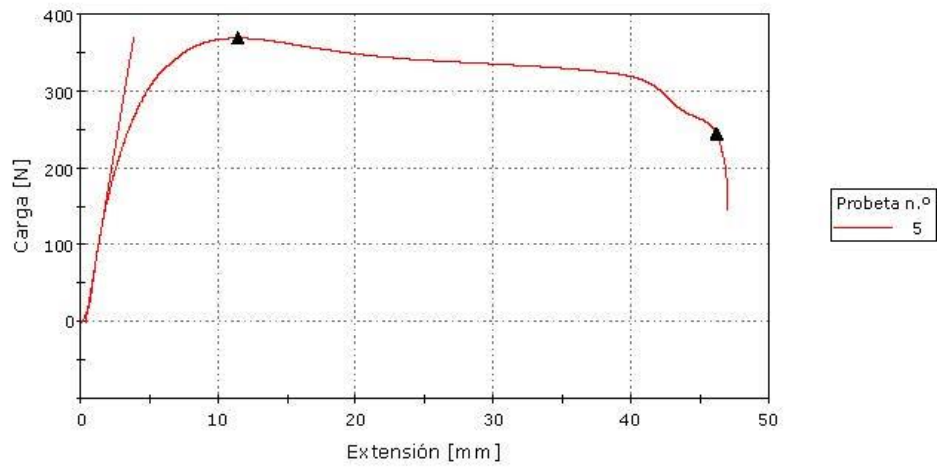
jueves, 09 de enero de 2020

Gráfico 2

Probeta 1 a 4



Probeta 5 a 5



## Anexo 12. Informe de resultados de flexión del P5M5 corte laser emitido por Aglomerados Cotopaxi

AGLOMERADOS COTOPAXI S.A Código: FA-191214-02

Producción: Prueba:  
 Fecha de prueba: 14/12/2019 9:49:52 Linea:  
 Fecha de producción: 14/12/2019 9:49:52 Lote:  
 Usuario: Turno:  
 Cliente: Dennis Iza Categoria:  
 A revisar: No WPC

Comentario: WPC 15mm 50% PEAD, 50% POLVO DE MADERA MUESTRA #1

Flexión									
N.	Longitud mm	Anchura mm	Espesor mm	Peso g	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Peso por superficie Kg/m <sup>2</sup>	Fuerza Kg	Flexión Kg/cm <sup>2</sup>	Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>
1	350,00	48,80	15,08	278,02	1079,41	16,28	46,00	145,40	6227,62
2	350,00	48,72	15,24	287,02	1104,46	16,83	48,70	149,60	6678,52
3	350,00	49,10	15,36	289,02	1094,93	16,82	52,60	154,45	7877,65
4	350,00	49,80	15,60	292,02	1073,97	16,75	59,70	158,67	8598,34
5	350,00	49,08	15,78	300,59	1108,91	17,50	62,00	161,18	8892,85
Media	350,00	49,10	15,41	289,33	1092,34	16,84	53,80	153,86	7655,00
Desv. est.		0,43	0,28	8,18	15,27	0,44	6,90	6,46	1168,62

## Anexo 13. Informe de resultados de flexión del P6M4 corte laser emitido por Aglomerados Cotopaxi

AGLOMERADOS COTOPAXI S.A Código: FA-191214-03

Producción: Prueba:  
 Fecha de prueba: 14/12/2019 9:55:26 Linea:  
 Fecha de producción: 14/12/2019 9:55:26 Lote:  
 Usuario: Turno:  
 Cliente: Dennis Iza Categoria:  
 A revisar: No WPC

Comentario: WPC 15mm 60% PEAD, 40% POLVO DE MADERA MUESTRA #2

Flexión									
N.	Longitud mm	Anchura mm	Espesor mm	Peso g	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Peso por superficie Kg/m <sup>2</sup>	Fuerza Kg	Flexión Kg/cm <sup>2</sup>	Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>
1	350,00	49,50	15,84	253,46	923,59	14,63	36,40	116,69	3494,08
2	350,00	49,60	15,76	256,76	938,47	14,79	34,87	115,79	3488,10
3	350,00	49,54	15,65	255,34	940,98	14,73	34,05	113,56	3356,05
4	350,00	49,76	15,55	260,75	962,82	14,97	33,60	112,05	3178,45
5	350,00	49,48	15,54	262,04	973,69	15,13	33,50	111,37	3074,30
Media	350,00	49,58	15,67	257,67	947,91	14,85	34,48	113,89	3318,20
Desv. est.		0,11	0,13	3,63	20,09	0,20	1,20	2,31	187,25

**Anexo 14.** Informe de resultados de flexión del P5M4A1 corte laser emitido por Aglomerados Cotopaxi

AGLOMERADOS COTOPAXI S.A

Código:

FA-191214-01

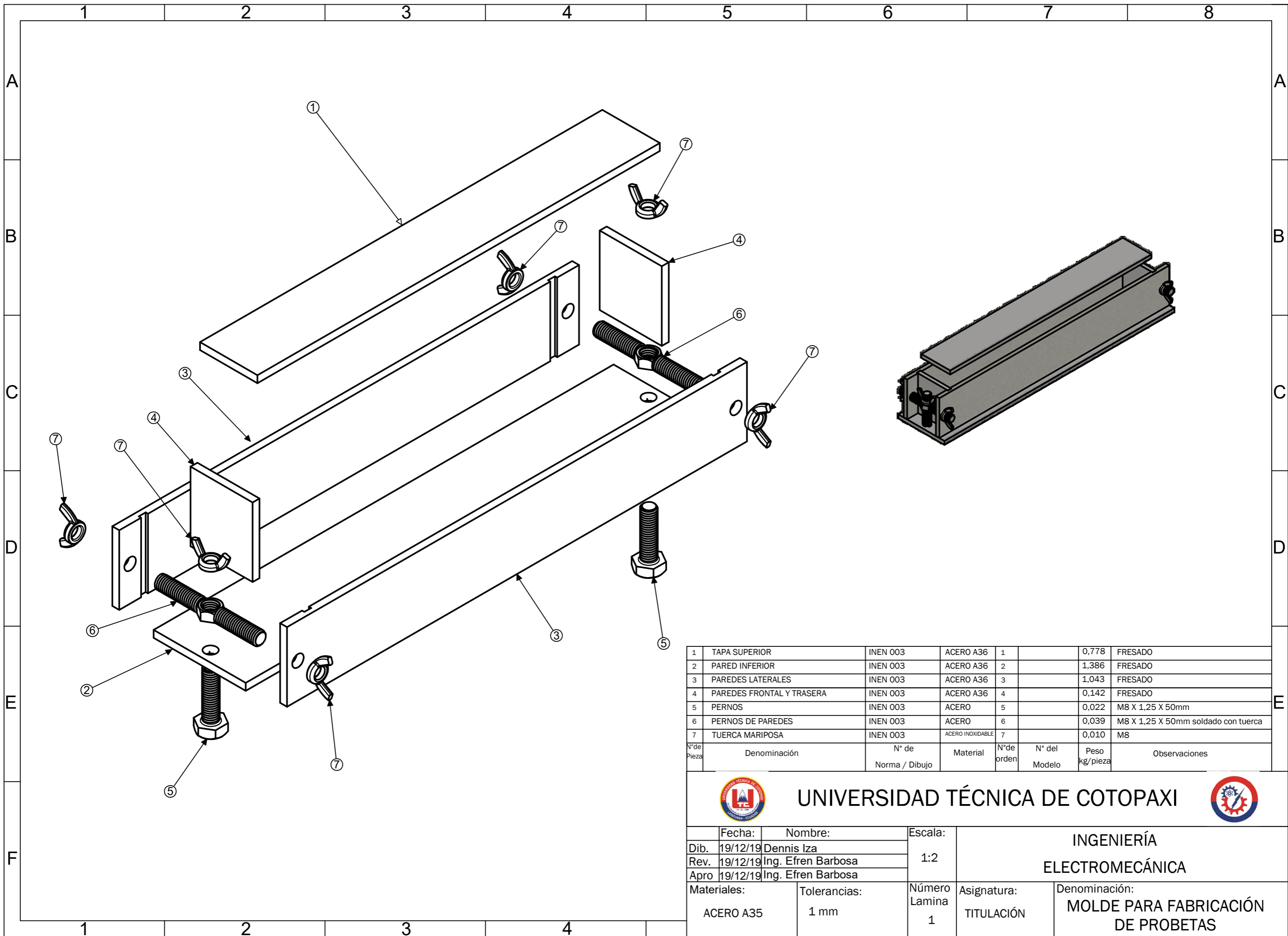
Producción:	DP NR 15MM CMP CA-LI	Prueba:	1
Fecha de prueba:	14/12/2019 8:57:22	Línea:	
Fecha de producción:	14/12/2019 8:57:22	Lote:	
Usuario:	F. ALMACHI	Turno:	
Cliente:	Dennis Iza	Categoría:	WPC
A revisar:	No		

Comentario: WPC 15mm 50% PEAD, 40% POLVO DE MADERA 10% ADITIVOS MUESTRA #3

Flexión									
N.	Longitud mm	Anchura mm	Espesor mm	Peso g	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Peso por superficie Kg/m <sup>2</sup>	Fuerza Kg	Flexión Kg/cm <sup>2</sup>	Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>
1	350,00	49,52	15,54	287,92	1068,99	16,61	46,60	131,82	4275,08
2	350,00	49,52	15,44	269,92	1008,65	15,57	44,07	132,52	4845,08
3	350,00	49,51	15,33	267,23	1005,96	15,42	42,08	132,78	5265,08
4	350,00	49,52	15,25	260,22	984,51	15,01	40,10	134,62	6386,08
5	350,00	49,54	15,12	255,03	972,78	14,71	39,10	135,94	7646,96
Media	350,00	49,52	15,34	268,06	1008,18	15,47	42,39	133,54	5683,66
Desv. est.		0,01	0,16	12,55	37,13	0,73	3,03	1,70	1342,62

Anexo 15. Planos

# Planos



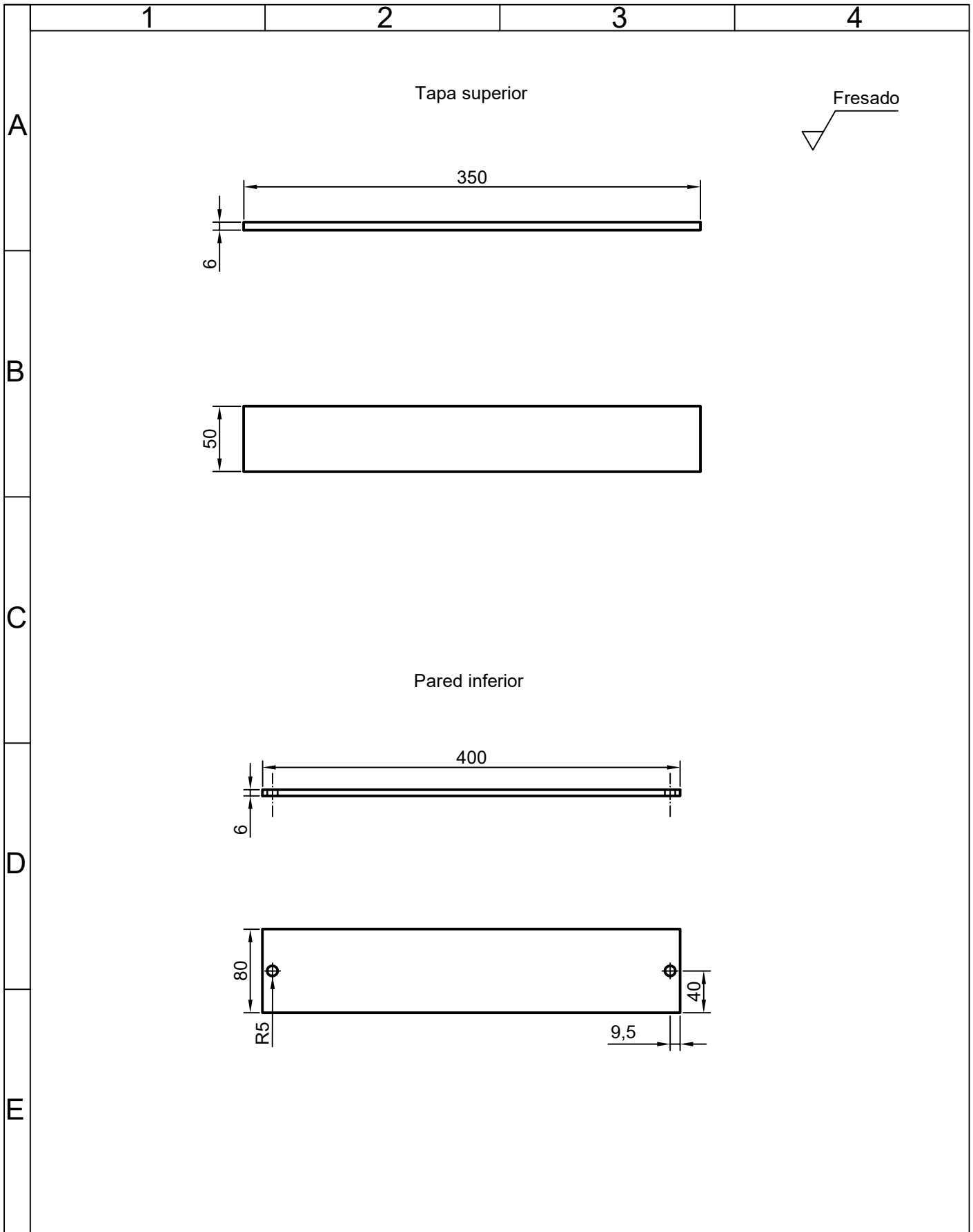
1	TAPA SUPERIOR	INEN 003	ACERO A36	1		0,778	FRESADO
2	PARED INFERIOR	INEN 003	ACERO A36	2		1,386	FRESADO
3	PAREDES LATERALES	INEN 003	ACERO A36	3		1,043	FRESADO
4	PAREDES FRONTAL Y TRASERA	INEN 003	ACERO A36	4		0,142	FRESADO
5	PERNOS	INEN 003	ACERO	5		0,022	M8 X 1,25 X 50mm
6	PERNOS DE PAREDES	INEN 003	ACERO	6		0,039	M8 X 1,25 X 50mm soldado con tuerca
7	TUERCA MARIPOSA	INEN 003	ACERO INOXIDABLE	7		0,010	M8
N° de Pieza	Denominación	N° de Norma / Dibujo	Material	N° de orden	N° del Modelo	Peso kg/pieza	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



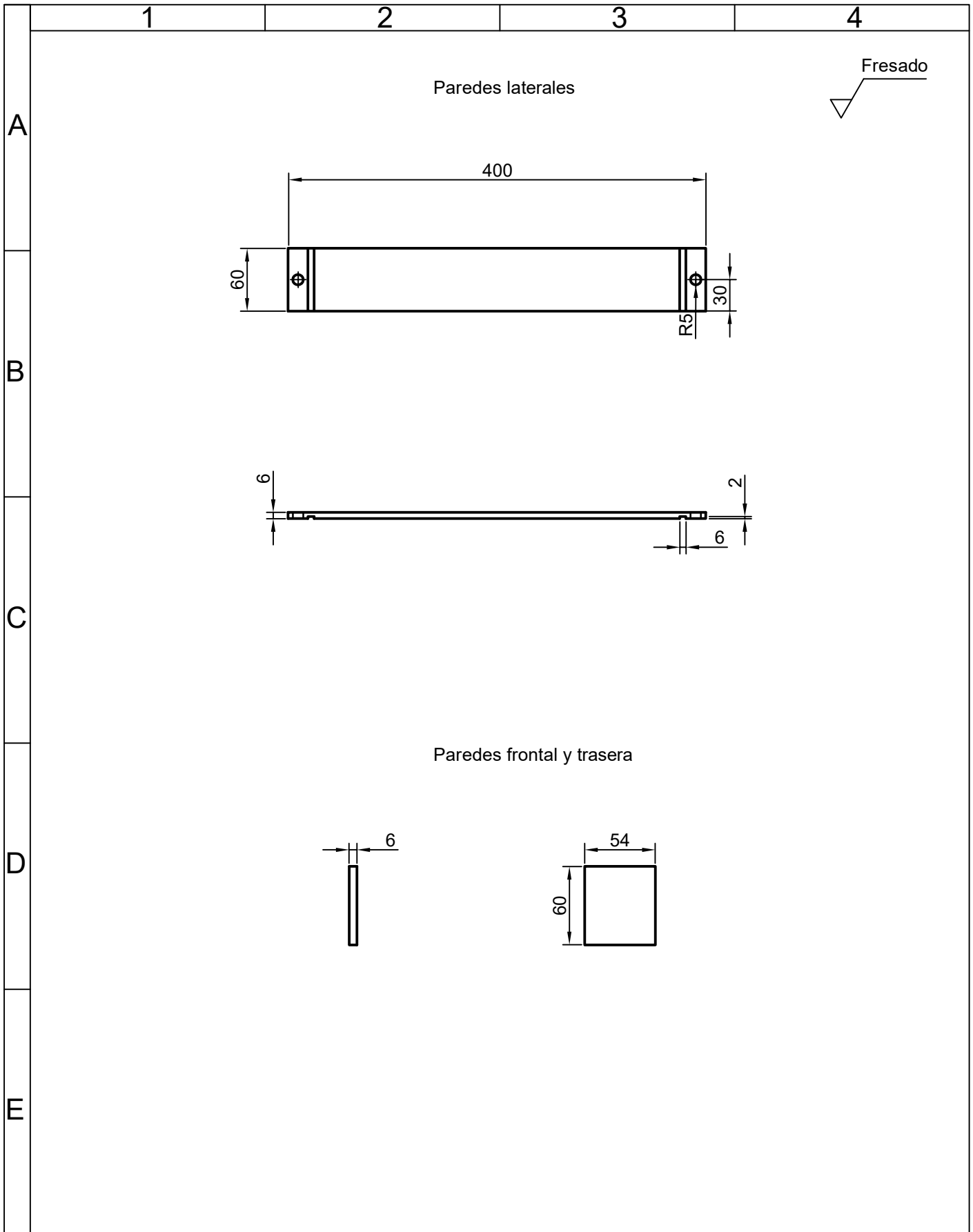
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA		
Dib. 19/12/19	Dennis Iza	1:2	ELECTROMECAÁNICA		
Rev. 19/12/19	Ing. Efrén Barbosa				
Apro. 19/12/19	Ing. Efrén Barbosa				
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
ACERO A35		1 mm	1	TITULACIÓN	MOLDE PARA FABRICACIÓN DE PROBETAS



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



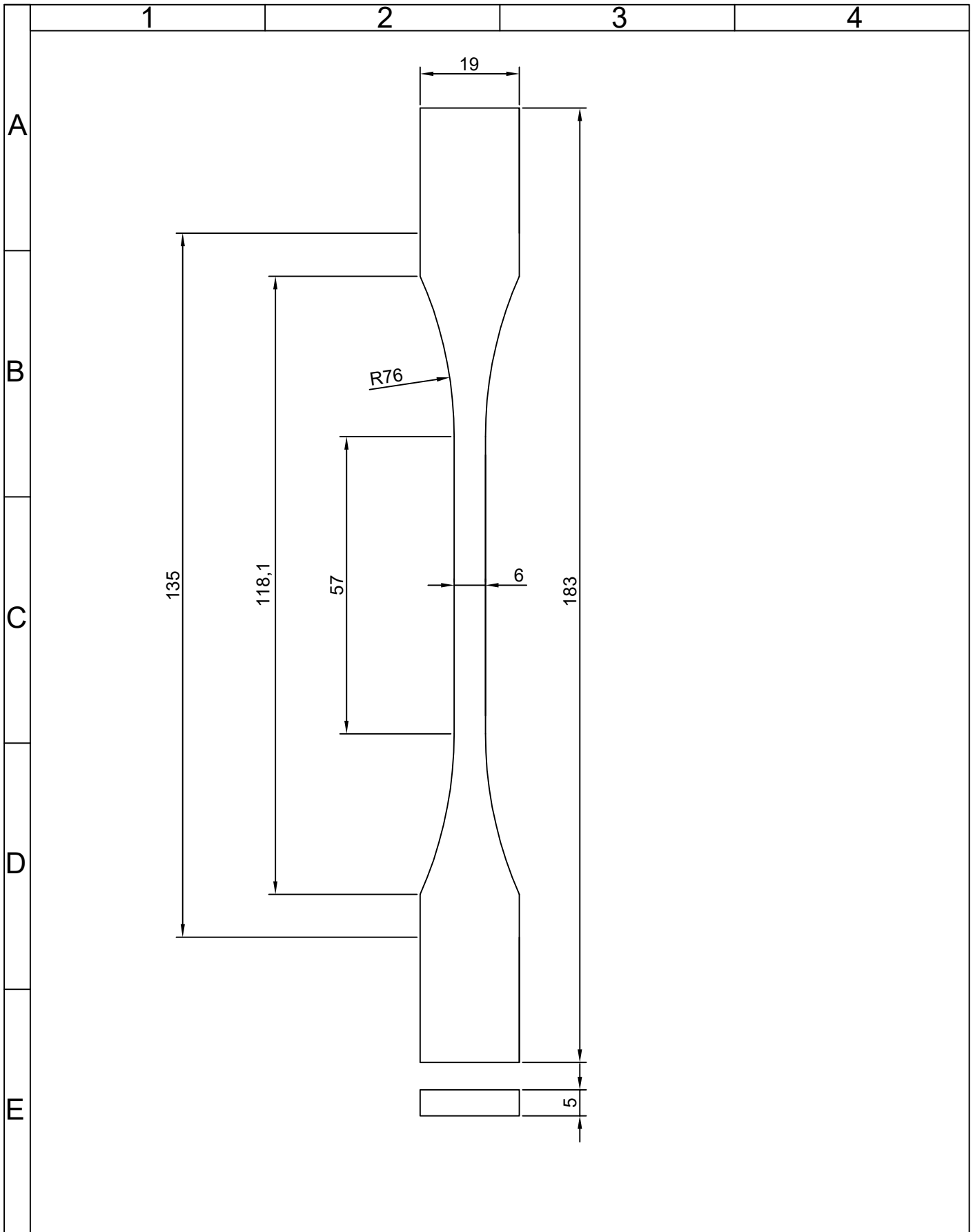
	Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	19/12/19	Dennis Iza	1:4		
Rev.	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Apro	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
ACERO A35		1 mm	2	TITULACIÓN	DIMENSIONES DEL MOLDE



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



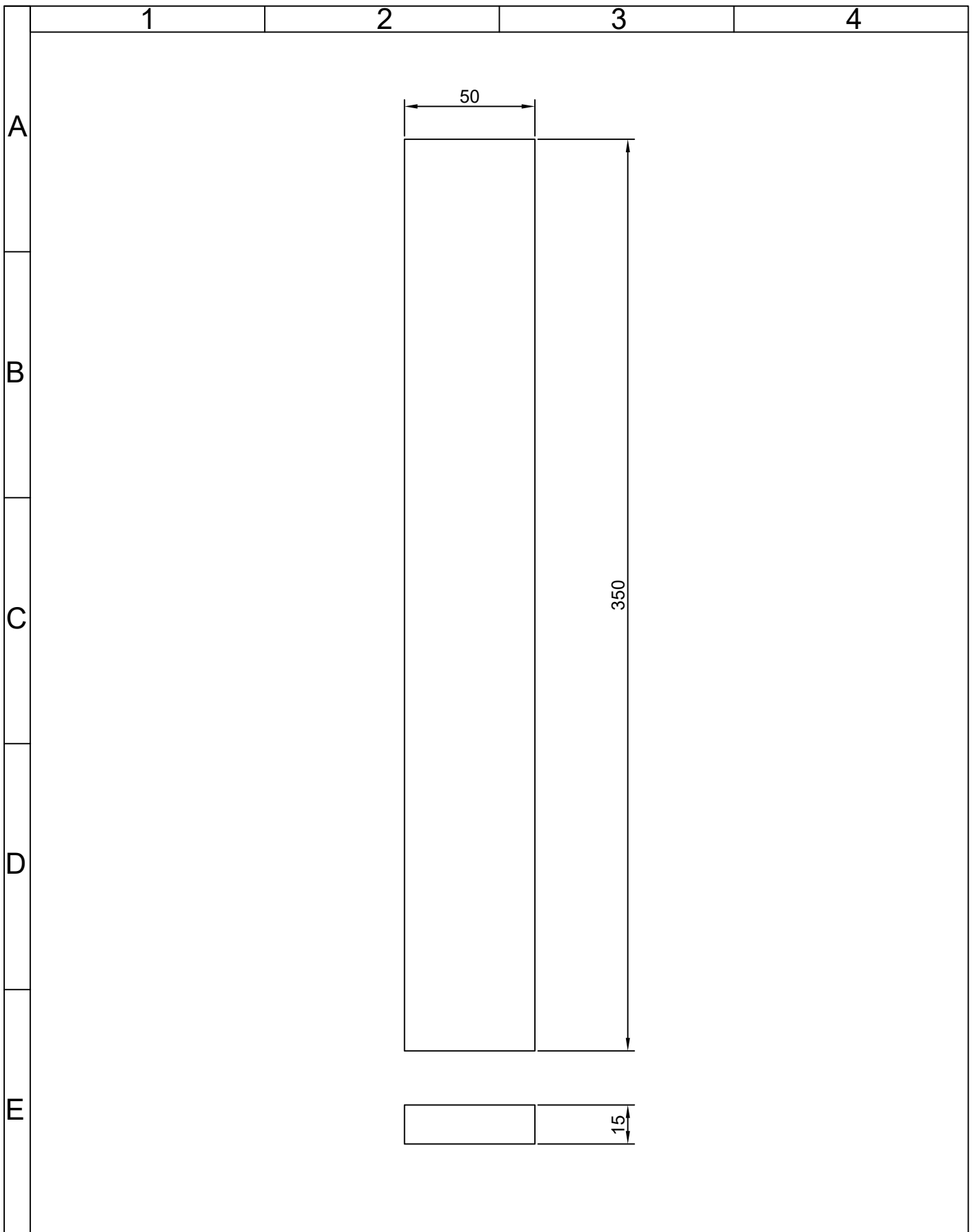
	Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	19/12/19	Dennis Iza	1:4		
Rev.	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Apro	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
ACERO A35		1 mm	3	TITULACIÓN	DIMENSIONES DEL MOLDE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	19/12/19	Dennis Iza	1:1		
Rev.	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Apro	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
WPC		1 mm	4	TITULACIÓN	DIMENSIONES DE PROBETA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	19/12/19	Dennis Iza	1:5		
Rev.	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Apro	19/12/19	Ing. Efren Barbosa			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
WPC		1 mm	5	TITULACIÓN	<b>DIMENSIONES DE PROBETA PARA ENSAYO DE FLEXIÓN</b>