

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTOS DE CUERO  
RECUPERADO AGLOMERADOS CON RESINA POLIMÉRICA**

**Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico,  
que presenta el bachiller:**

**ALEJANDRO JOSÉ ARIAS FERNÁNDEZ**

**ASESOR: Dr. Ing. Julio Acosta Sullcahuamán  
Dr. Francisco Rumiche Zapata**

**Lima, diciembre del 2013**

## RESUMEN

Actualmente la producción de calzados de cuero es una actividad económica que crece principalmente al ritmo de la población de las grandes ciudades. En distintas etapas de la producción del calzado se realiza el corte del cuero y como producto de este proceso se obtienen grandes cantidades de mermas no utilizadas en la confección del calzado; éstas representan un 4% del total del cuero utilizado, los cuales normalmente son desechados incrementando el volumen de los residuos sólidos y, con ello, los problemas medioambientales. Entre las soluciones a este problema se plantea el recuperado de los residuos de cuero con el propósito de agregar valor a la cadena de producción del calzado; así, por ejemplo, producir a partir de estos residuos un material capaz de ser utilizado como suela falsa de botas de seguridad industriales.

El objetivo de este trabajo es el estudio de las propiedades de los materiales compuestos de cuero recuperado aglomerados con resina polimérica.

Con este propósito, se ha desarrollado este trabajo según las siguientes etapas: en primer lugar, se estudian los fundamentos teóricos relacionados con los materiales compuestos y procesos existentes que involucren residuos de cuero; seguidamente, se estableció la metodología experimental a seguir para la fabricación del material compuesto de cuero y resina polimérica, verificando mediante ensayos el proceso más adecuado para la obtención de las diferentes mezclas a evaluar y, finalmente, se fabricaron las muestras según el diseño experimental que considera la variación de la composición de las mezclas y del tamaño de partículas de cuero y se realizaron los distintos ensayos para determinar el material compuesto que posea las mejores propiedades mecánicas y otras físicas.

Finalmente, se ha determinado un proceso de fabricación para la obtención de materiales compuestos de cuero recuperado aglomerados con resina poliéster; identificando las variables involucradas en las etapas de este proceso: Preparación del cuero y la resina, mezcla de los constituyentes, curado y prensado a temperatura ambiente y curado en horno. Asimismo, se determinaron las propiedades mecánicas de los materiales compuestos resultantes y además la densidad y absorción de agua de los mismos.

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO	: ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRAS DE CUERO RECUPERADO AGLOMERADAS CON RESINA POLIMÉRICA
ÁREA	: Materiales
PROPUESTO POR	: Dr. Ing. Julio Arnaldo Acosta Sullcahuamán
ASESOR	: Dr. Ing. Julio Arnaldo Acosta Sullcahuamán Dr. Francisco Rumiche Zapata
TESISTA	: Alejandro José Arias Fernández
CÓDIGO	: 20064956
FECHA	: 21 de junio del 2013

### **DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

Esta investigación nace de la necesidad de reutilizar el cuero sobrante de una línea de producción de botas cuero. La primera etapa de la cadena de procesos para la elaboración de calzado es la labor de seccionado, donde se realizan las tareas de cortadura entre otras. Producto de estos procesos obtenemos grandes cantidades de recortes no utilizables para la confección de calzado, debido a que la forma de las piezas no cubre perfectamente la superficie total del zapato. Dichos restos, al no poder ser utilizados, son desechados.

Este trabajo se va a enfocar en la utilización del recuperado de cuero desechado, de tal manera que se pueda elaborar un material compuesto reforzado con fibras naturales de origen animal aglomerado con una resina.

Idealmente este material se utilizará para darle un valor agregado a la cadena de producción de botas de seguridad industriales, destinando el producto final a formar parte como la suela falsa de las botas.

El objetivo de este trabajo es el estudio del proceso de fabricación y las propiedades de los materiales compuestos de fibras de cuero recuperado aglomeradas con resina polimérica.



**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRAS DE**

**CUERO RECUPERADO AGLOMERADAS CON RESINA**

**POLIMÉRICA**

Introducción

1. Fundamentos teóricos
2. Metodología experimental
3. Resultados y análisis

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

---

Dr. Ing. Julio Acosta Sullcahuamán  
Asesor

---

Dr. Francisco Rumiche Zapata  
Asesor



## AGRADECIMIENTO

Al Doctor Ingeniero Julio Acosta Sullcahuamán y al Doctor Francisco Rumiche Zapata por su constante dedicación y paciencia.

A mis padres por la confianza brindada y apoyo incondicional.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	i
TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
Fundamentos teóricos .....	3
1.1 Materia prima.....	3
1.1.1 Cuero recuperado .....	3
1.1.2 Resina.....	5
1.1.3 El material compuesto.....	7
1.2 Procesos de fabricación.....	8
1.2.1 Hidrólisis .....	8
1.2.2 Proceso de conformación por matriz acuosa.....	9
1.2.3 Conformado por presión y calor .....	10
1.3 Ensayos mecánicos.....	11
1.3.1 Normas para el ensayo de tracción .....	12
1.4 Aplicación de material compuesto .....	13
CAPÍTULO II.....	16
Metodología experimental.....	16
2.1 Materiales .....	16
2.1.1 Resina.....	16
2.1.2 Cuero .....	18
2.1.3 Aditivos .....	21
2.2 Equipos empleados .....	24
2.2.1 Prensa hidráulica manual.....	24
2.2.2 Mufla eléctrica .....	25
2.2.3 Balanza analítica .....	25
2.2.4 Molde de aluminio con tapa de acero .....	26
2.2.5 Equipo de tamizado.....	27

2.3	Preparación de mezcla .....	28
2.3.1	Preparación del cuero .....	28
2.3.2	Preparación de resina .....	31
2.4	Fabricación de muestras de material compuesto .....	37
2.4.1	Moldeo .....	37
2.4.2	Precurado.....	39
2.4.3	Prensado.....	42
2.4.4	Curado .....	44
2.4.5	Diseño experimental.....	48
2.1	Realización de ensayos a las probetas obtenidas.....	53
2.1.1	Ensayos de tracción según norma técnica ASTM D1037-06 .....	53
2.1.2	Ensayo de absorción de agua según norma técnica ASTM D570-98 .....	57
2.1.3	Ensayo de densidad según norma técnica ASTM D1037-06.....	58
CAPÍTULO III.....		60
Resultados y análisis .....		60
3.1	Tiempo de curado de resina poliéster.....	60
3.2	Rango de porcentajes de cuero y resina .....	64
3.3	Discusión y análisis de resultados de ensayos de tracción.....	68
3.4	Discusión y análisis de resultados de ensayo de absorción .....	80
3.5	Discusión y análisis de ensayo de densidad.....	83
CONCLUSIONES .....		86
RECOMENDACIONES.....		88
BIBLIOGRAFÍA.....		90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Tipos de resina polimérica .....	5
Tabla 2. 1 Tamaño de partículas para cada malla .....	27
Tabla 2. 2 Ensayo variando cantidad de peróxido de MEK .....	33
Tabla 2. 3 Ensayo octoato de cobalto .....	34
Tabla 2. 4 Ensayo monómero de estireno.....	35
Tabla 2. 5 Materiales .....	48
Tabla 2. 6 Combinaciones .....	48
Tabla 2. 7 Proporción de contenido .....	50
Tabla 2. 8 Procesos a emplear .....	43
Tabla 2. 9 Post-calentamiento .....	45
Tabla 2. 10 Densidad de materiales.....	51
Tabla 2. 11 Relación en peso de componentes .....	52
Tabla 3. 1 Ensayo de tiempo de curado variando MEK.....	61
Tabla 3. 2 Ensayo de tiempo de curado variando octoato de cobalto .....	62
Tabla 3. 3 Ensayo de velocidad de curado variando monómero de estireno.....	63
Tabla 3. 4 Diferentes composiciones de fabricación .....	65
Tabla 3. 5 Ensayo para selección de proceso de fabricación.....	68
Tabla 3. 6 Ensayo de temperatura de Post-calentamiento.....	71
Tabla 3. 7 Relación de probetas a ensayar MR1, MR2 y MR5.....	73
Tabla 3. 8 Resultados de ensayos de tracción general.....	76
Tabla 3. 9 Tabla de resultados ensayo tracción MR2.....	77
Tabla 3. 10 Ensayo de absorción MR5 .....	81
Tabla 3. 11 Tabla de resultado de densidades MR1 .....	84
Tabla 3. 12 Tabla de resultado de densidades MR2 .....	84
Tabla 3. 13 Tabla de resultado de densidades MR5 .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipos de materiales compuestos.....	8
Figura 1.2 Proceso hydroentanglement .....	9
Figura 1.3 Diagrama de probetas para ensayo de tracción.....	12
Figura 1.4 Ensayo de tracción .....	13
Figura 1.5 Material utilizado como suela falsa por Boticentro S.A. ....	14
Figura 1.6 Diseño de calzado de seguridad con suela falsa.....	14
Figura 2.1 Resina poliéster .....	17
Figura 2.2 Cuero en polvo y desperdicios.....	19
Figura 2.3 Merma de tiras de cuero .....	20
Figura 2.4 Cuero picado tamaño de partícula MR2.....	21
Figura 2.5 Peróxido de MEK.....	22
Figura 2.6 Acelerador octoato de cobalto.....	23
Figura 2.7 Desmoldante líquido .....	24
Figura 2.8 Prensa hidráulica Paul Weber.....	24
Figura 2.9 Interior mufla eléctrica.....	25
Figura 2.10 Pesaje de polvo de cuero.....	26
Figura 2.11 Despiece de molde .....	26
Figura 2.12 Molde completo.....	27
Figura 2.13 Mallas de retención 1-5.....	28
Figura 2.14 Tamizado de cuero por malla 5.....	29
Figura 2.15 Producto de tamizado de malla 5.....	30
Figura 2.16 Cuero en trazos .....	30
Figura 2.17 Cuero picado .....	31
Figura 2.18 Componentes para la preparación de la resina poliéster.....	32
Figura 2.19 Prueba en 50gr de resina poliéster .....	33
Figura 2.20 Resultado 50gr, 20% mono, 4% MEK, 2% Cobalto.....	35
Figura 2.21 Prueba resina – cuero.....	36
Figura 2.22 Mezcla uniforme entre ambos materiales.....	37
Figura 2.23 Secado de desmoldante .....	38
Figura 2.24 Molde lleno cerrado, listo para iniciar curado .....	39
Figura 2.25 Molde bajo presión.....	40
Figura 2.26 Muestra final en molde (sin tapa) .....	41
Figura 2.27 Desarmado de molde, retiro de muestra .....	41
Figura 2.28 Mezcla lista para compactar.....	42

Figura 2.29 Mufla eléctrica.....	46
Figura 2.30 Diagrama de flujo ensayo de probeta.....	47
Figura 2.31 Diferencia en tamaño de partícula.....	49
Figura 2.32 Dimensiones de la probeta de material compuesto para ensayo de tracción	54
Figura 2.33 Instrumentos utilizados para la medición.....	55
Figura 2.34 Probetas a ser ensayadas .....	55
Figura 2.35 Equipo para ensayo de tracción Zwick/Roell SP-600 .....	56
Figura 2.36 Ensayo de tracción de material compuesto.....	57
Figura 2.37 Probetas de tracción luego de ser ensayadas.....	57
Figura 2.38 Pesado para ensayo de absorción de agua .....	57
Figura 2.39 Inmersión para ensayo de absorción de agua.....	58
Figura 2.40 Ensayo de densidad .....	59
Figura 2.41 Muestra sumergida en ensayo de densidad.....	59
Figura 3.1 Resultados tiempo de curado variando MEK .....	61
Figura 3.2 Resultados tiempo de curado variando octoato de cobalto .....	62
Figura 3.3 Tiempo de curado variando monómero de estireno .....	63
Figura 3.4 Material compuesto 25% Cuero y 75% Resina poliéster.....	66
Figura 3.5 Material compuesto 50% Cuero y 50% Resina poliéster.....	66
Figura 3.6 Material compuesto 75% Cuero y 25% Resina poliéster.....	67
Figura 3.7 Material compuesto 90% Cuero y 10% Resina poliéster.....	67
Figura 3.8 Gráfica de resultados determinación de proceso .....	69
Figura 3.9 Ensayo de tracción de probetas post-calentamiento .....	71
Figura 3.11 Resultados ensayo de tracción para post-calentamiento .....	73
Figura 3.12 Resultado de ensayos de tracción general.....	75
Figura 3.13 Diagrama de esfuerzo de resistencia a la tracción para el material compuesto con tamaño de partícula MR2 .....	78
Figura 3.14 Diagrama de módulo elástico de material compuesto con tamaño de partícula MR2.....	78
Figura 3.15 Promedio de esfuerzos a la tracción para el material compuesto.....	79
Figura 3.16 Promedio de módulo elástico para el material compuesto .....	80
Figura 3.17 Ensayo de absorción de agua.....	82
Figura 3.18 Absorción promedio de agua para material compuesto con tamaño de partícula MR5 .....	83
Figura 3.19 Resultados de ensayo de densidad promedio.....	85
Figura 3.20 Suela falsa de material compuesto MR5-75.25P51001 .....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de densidades.....	1
Anexo 2 Ensayo de absorción .....	3
Anexo 3 Ensayo de tracción para seleccionar proceso ideal.....	5
Anexo 4 Proporciones de muestras para la fabricación .....	16
Anexo 5 Ficha de datos de seguridad (MSDS) .....	18



## INTRODUCCIÓN

El rubro de producción en base a cuero es uno de los sectores del mercado con mayor movimiento, existen muchas empresas, ya sean formales como informales que utilizan el cuero curtido como materia prima para elaborar sus productos.

Se puede estimar que de cada 100 kg de cuero utilizado para la línea de producción de una empresa, existe un residuo inutilizable para la confección de calzado de aproximadamente 4kg, este residuo es desechado por las empresas ya sea recuperando algo de valor vendiendo el producto para marroquinería o en todo caso desechándolo por completo.

El aspecto más importante de ésta investigación es recuperar el valor de aquel desecho utilizándolo como constituyente principal para la fabricación de un material compuesto.

El beneficio de este material es que sería totalmente de origen orgánico, al tratarse de un compuesto reforzado por fibras naturales de origen animal.

Se especificarán las diferentes propiedades que debe tener el material compuesto y en base a eso se escogerán los procesos y las variables que han de seleccionarse para poder fabricarlo. El propósito general es poder darle un valor agregado a la línea de producción de calzado de seguridad, es decir, botas industriales, al utilizar el material compuesto como suela falsa del calzado.

Las suelas falsas de las botas de seguridad deben cumplir con ciertas características, las más importantes a considerar son: la alta durabilidad, ya que al estar entre la suela y plantilla no hay manera de reemplazarla inmediatamente; la no absorción, para así evitar que la humedad se adhiera y ocasione la formación de bacteria; y la fácil conformación que tiene el material final para darle la forma necesaria.

En este contexto, el objetivo principal de la tesis es el estudio de materiales compuestos de cuero recuperado aglomerados con resina termoestable para la fabricación de complementos de calzado industrial.

Dentro de la investigación se plantean los siguientes puntos clave que conducirán a la definición de la composición del material compuesto:

- Investigar acerca del tipo de cuero necesario y resina termoestable para crear el compuesto reforzado
- Analizar los diferentes tipos de composiciones posibles para lograr compuesto ideal
- Realizar composición ideal del material polimérico

- Fabricar probetas según norma para llevar a cabo los distintos ensayos y definir propiedades del compuesto
- Obtener datos técnicos experimentales sobre el compuesto

Dentro del primer capítulo de la investigación se realizará un estudio sobre las materias primas a utilizar para la fabricación del material compuesto, de igual manera se definirá la matriz de composición de material y sobre todo los tamaños de partículas a utilizar para llevar a cabo la fabricación. Una vez analizados los materiales se procederá a investigar acerca de los procesos de fabricación, en donde se podrá identificar cual será el más viable para la elaboración del material compuesto. Por último, el primer capítulo concluirá con la elección de los potenciales ensayos a realizar al material compuesto de modo que puedan analizarse los resultados de manera correcta y acorde a la investigación.

El segundo capítulo de la tesis involucrará el estudio de los materiales elegidos para la fabricación y todo el procedimiento de fabricación del material compuesto, iniciando por la preparación del compuesto aglomerante. Se procederá a ensayar las distintas mezclas posibles entre la resina polimérica y los aditivos necesarios para llegar a la mezcla correcta que brinde las cualidades necesarias para poder ser utilizado como aglomerante del cuero. Dichos ensayos se mostrarán a lo largo del segundo capítulo donde esta etapa concluirá con la elección del proceso a utilizar basándose en los resultados obtenidos. De igual manera se plantearán las distintas composiciones en cuanto a relación de resina y cuero en las mezclas para el material a diseñar, se procederá a nombrar cada una de ellas para luego ser analizadas. Al concluir esta etapa se elegirá el proceso de fabricación, donde se tomarán distintas variables para poder determinar el mejor comportamiento del material y las distintas propiedades adquiridas luego de cada proceso sometido. Se realizarán ensayos posteriores a cada proceso para determinar cómo se ve afectada la mezcla por los distintos valores de presión, tiempo y temperatura. Finalizando se discutirán y analizarán los resultados dentro del tercer capítulo, es ahí donde se podrá seleccionar el material con las mejores propiedades mecánicas basándose en el mejor uso de los recursos primarios, es decir, el material que aproveche más la merma de cuero y muestre las mejores características. Se analizarán todas las mezclas y se discutirá sobre cómo ha ido afectando cada cambio en los procesos de fabricación para así poder llegar al material seleccionado. Es en este capítulo donde concluiremos la investigación, demostrando el porqué de la elección del material y su potencial uso en la industria.

# CAPÍTULO I

## Fundamentos teóricos

La investigación de la tesis puede ser dividida claramente en tres aspectos particulares, en éste primer capítulo se estudiará con profundidad la investigación acerca de los materiales y procesos de conformación del material compuesto, es decir, los materiales a utilizar, el tipo de resina como aglomerante, la calidad y dimensión de la viruta de cuero recuperado como también los procesos necesarios para llevar a cabo la elaboración del material compuesto.

Distintos procesos conllevan a distintos resultados, a partir de la investigación a realizar se optará por elegir el proceso con mayor viabilidad de modo que sea factible la elaboración del material compuesto.

Dentro de la investigación se hará referencia a distintos tipos de procesos utilizados para distintos propósitos, el resultado final ha de ser un proceso sostenible cubriendo todas las variables que se puedan dar para así tener como resultado una secuencia a seguir para lograr el compuesto deseado.

Dentro de la investigación podemos referir a un informe en particular, “Aglomerado de virutas de cuero, influencia de la presión de moldeo sobre sus propiedades” escrito por Alfredo Schneider, Hugo Flores. En este informe podemos apreciar información valiosa acerca de la “Valorización de Virutas de cuero – Aislante térmico y recuperación de péptidos” donde los autores se enfocan en la utilización de la viruta de cuero para realizar un compuesto, “Propone elaborar un aislante aprovechando la baja conductividad térmica del cuero, y el poder adhesivo de las “colas” producto de la hidrólisis del colágeno; generando un material aglomerado, utilizado como cargas las virutas y como adhesivo los productos de la reacción” [Schneider, 2012]

### 1.1 Materia prima

#### 1.1.1 Cuero recuperado

El cuero que utilizaremos para elaborar el material compuesto será un cuero ya trabajado previamente, es decir, un cuero que ha pasado ciertos procesos para que sea apto su uso en la industria.

Los procesos que conlleva el cuero desde el animal hasta el calzado son muchos, teniendo como primer proceso la recepción de la piel salida de una cámara refrigeradora.

La secuencia es la siguiente

- Humectación de la piel: Se remoja la piel con el fin de rehidratarla
- Descarnado: Eliminar tejido subcutáneo
- Dividido: Separación de epidermis

Una vez obtenida la piel pasa por la etapa de curtido, que es la etapa que le dará la composición final a la piel, información necesaria para la investigación.

Como primer paso se homogeniza el espesor de la piel, se tiñe y se adiciona anilina, luego pasa por el curtido en sí, donde se utiliza cromo (Cr) para transformar el colágeno de la piel en cuero por la reacción química de los curtientes sintéticos con las fibras de colágeno. De esta manera obtenemos un cuero estable, duradero y no degradable.

Hoy en día el 80% de los cueros se curten de esta manera.

Es así como obtenemos el material principal para elaborar el material compuesto final.

### **Propiedades del cuero**

Para poder llevar a cabo la constitución del material compuesto, primero debemos de conocer las propiedades de cada elemento a utilizar por separado.

Considerando un curtido al cromo homogenizado tendremos las siguientes características:

- Virutas de cuero
- Composición: 50 – 60% de humedad – 4,3 – 4,5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### **Dimensiones del cuero a utilizar**

Dado que se utilizará el cuero como refuerzo de fibras deberemos tener una cantidad importante esparcida a lo largo de todo el material, de modo que las propiedades del cuero puedan estar presentes y así lograr un material con propiedades homogenizadas.

De información recogida podemos estimar un tamaño de viruta como el siguiente

- Tamaño: 4 – 0.3mm

Obtener este tamaño de viruta de cuero sería el primer proceso para el conformado de modo que se pueda llevar a cabo el estudio completo.

Es por eso que la molienda es primordial y clave para la investigación, es por este proceso que reducimos el tamaño de los retazos de cuero utilizando algún tipo de molino, ya sea de cuchillas o algún elemento cortante, obteniendo así el tamaño deseado.

### 1.1.2 Resina

Las resinas son secreciones de carácter orgánico, provienen de diferentes plantas y árboles. Dada su composición son utilizadas frecuentemente para la fabricación de adhesivos, barnices y aditivos de distintos tipos.

De la misma manera que podemos encontrar la resina natural, existe también la resina tratada con mezclas de líquidos no miscibles homogéneos, esta resina se denomina resina sintética.

Como consecuencia podemos encontrar diferentes tipos de resina sintética, cada una con diferente aplicación.

- Acrílicos
- Poliéster
- Resina Epoxi

Estas resinas, ya sean naturales o sintéticas se han diferenciado en dos grupos principalmente:

Fenólica y aminas

Las resinas fenólicas poseen buena fuerza, resistencia al impacto y estabilidad al calor, también ofrecen cualidades como alta resistencia a la penetración de humedad, corrosión y buena maquinabilidad.

Se utilizan más que todo como adhesivos para cemento o como aglomerados, para moldes y revestimiento de componentes eléctricos.

En cuando a las resinas aminas, éstas poseen buena resistencia al calor, dureza superficial y resistencia a solventes y al descoloramiento.

Debido a su mayor fragilidad son utilizadas como resinas para laminado, recubrimiento en textiles y baldosas.

Tipos de Resina (Ver tabla 1.1)

**Tabla 1. 1.** Tipos de resina polimérica

Propiedades	Aplicaciones
<b>Poliéster</b> Flexibilidad extrema en el proceso, excelente resistencia al calor, químicos y llama, bajo costo, excelentes características mecánicas y eléctricas	Construcción Laminado Auto-reparación de masillas Esquíes Caña de pescar

	<p>Componentes de aviones y barcos</p> <p>Recubrimientos</p> <p>Accesorios decorativos</p> <p>Botellas</p>
<p><b>Policarbonatos</b></p> <p>Índice de refracción alto, excelentes propiedades químicas, eléctricas y térmicas, estabilidad dimensional. transparente, resistente al manchado, buena resistencia a la filtración</p>	<p>Reemplazo para los metales</p> <p>Cascos de seguridad</p> <p>Lentes</p> <p>Componentes eléctricos</p> <p>Película fotográfica</p> <p>Aisladores</p>
<p><b>Poliamidas</b></p> <p>Moldeo fácil, fuerte y resistente, ligero, resistente a la abrasión, bajo coeficiente de fricción, buena resistencia química</p>	<p>Cojinetes no lubricados</p> <p>Fibras</p> <p>Engranajes</p> <p>Aplicaciones</p> <p>Suturas</p> <p>Neumáticos</p> <p>Correas de reloj</p> <p>Empaquetado</p> <p>Botellas</p>
<p><b>Celulósicos</b></p> <p>Excepcional dureza, alta fuerza al impacto, alta fuerza dieléctrica, baja conductividad térmica, alta superficie lustre</p>	<p>Acabados de papel y textiles</p> <p>Agentes espesantes</p> <p>Tapas magnéticas</p> <p>Empaquetado</p> <p>Tubos</p>
<p><b>Cloruro de polivinilo</b></p> <p>Excelentes propiedades físicas, excelente resistencia química, fácil de procesar, costos relativamente bajos, capacidad de mezclarse con otras resinas</p>	<p>Tubos y tuberías de producción</p> <p>Adhesivos</p> <p>Paneles de construcción</p> <p>Zapatos</p> <p>Cadena para tubería</p> <p>Impermeables</p>
<p><b>Fluorocarbonos</b></p> <p>Bajo coeficiente de fricción, baja permeabilidad,</p>	<p>Aislamiento eléctrico</p> <p>Sellos mecánicos</p>

baja absorción de humedad, excepcional inercia química, baja fuerza dieléctrica	Empaquetaduras Revestimiento para equipos químicos Cojinetes Aplicaciones criogénicas
---	--

### Resina a utilizar

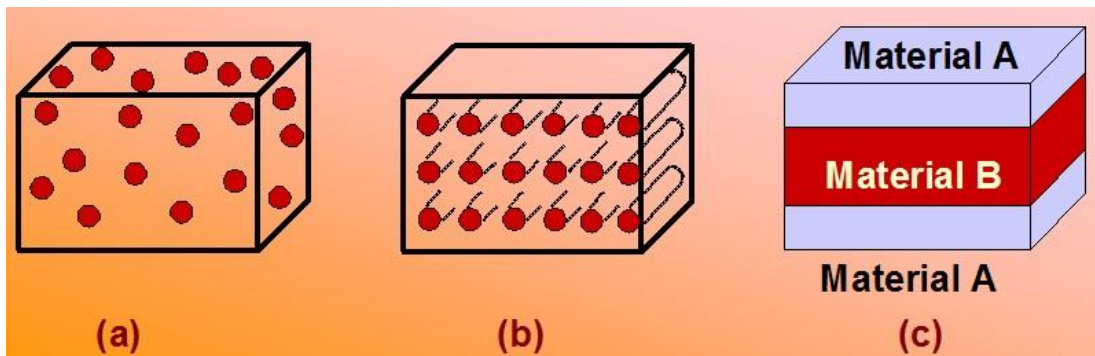
Para la investigación consideraremos una resina para llevar a cabo la fabricación del material compuesto, esta será la resina polimérica de poliéster, la cual se utiliza para un sinnúmero de aplicaciones en la industria.

#### 1.1.3 El material compuesto

De modo que la tesis abarca el tema de el “material compuesto”, primero debemos definir qué significa como tal.

El material compuesto consta de dos elementos principales, una matriz y un refuerzo, de una combinación correcta de ambos se obtienen combinaciones de propiedades óptimas. La combinación de ambos materiales puede darse de distintas maneras, ya sea un matriz reforzada con partículas (partículas grandes o consolidadas por dispersión), reforzado con fibras (continuas orientadas o discontinuas cortas) o de manera estructural, es decir por medio de paneles laminares o paneles donde se cubra totalmente la matriz (paneles sándwich). (Ver figura 1.1)

- (a) Material compuesto reforzado con partículas
- (b) Material compuesto reforzado con fibras
- (c) Materia compuesto estructural



**Figura 1.1** Tipos de materiales compuestos<sup>1</sup>

A raíz de este tipo de configuraciones podemos obtener propiedades superiores para el material compuesto, posiblemente únicas en algunos aspectos con respecto a las propiedades que tendrían los componentes si son analizados por separado.

El propósito general de los materiales compuesto es obtener propiedades que no presenten otro tipo de elemento, poder obtener una elevada resistencia mecánica y rigidez con un coeficiente de expansión térmica muy bajo, materiales sumamente resistentes y duros con un peso muy ligero y una durabilidad mucho mayor, como podría ser el caso de la fibra de carbono.

Conociendo los componentes elementales para un material compuesto ahora debemos de establecer cuáles serán los que tomarán parte de esta investigación.

Se utilizará el recuperado de cuero (material previamente tratado), el cual es utilizado y desechado en las líneas de producción de calzado, este material tendrá el rol de dar el refuerzo en forma de fibras.

El material que se utilizará como aglomerante o aglutinante será un tipo de resina especial.

## 1.2 Procesos de fabricación

De las diferentes referencias podemos obtener diferentes tipos de conformación del material final, la mayoría de estas formas cuentan con algún tipo de resina, ya sea natural (proveniente del mismo cuero) o preparada especialmente.

### 1.2.1 Hidrólisis

Siguiendo los procesos de fabricación del compuesto, el primer paso, si es que no se dispone de un aglomerante, es la reacción de hidrólisis de los pequeños trozos del cuero, ya que de las mismas se obtiene el aglomerante a utilizar.

<sup>1</sup> Materiales Compuestos [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/Imagenes/Fig15\\_24.jpg](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/Imagenes/Fig15_24.jpg)

Se lleva a cabo en medio acuoso, utilizando NaOH 1 N, calentando hasta ebullición durante cuarenta minutos.

Después se neutraliza con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y posteriormente se lleva a cabo la extracción con agua (1:1 en volumen).

La separación de fases se realiza por decantación: la parte pesada es utilizada como “cola” y la liviana para recuperación de péptidos.

Esta cola natural servirá como aglomerante para el proceso de composición del material compuesto.

### 1.2.2 Proceso de conformación por matriz acuosa

Este es un método para formar una capa de material compuesto en base a una mezcla de fibras considerando como aporte principal la viruta de cuero y la resina sintética capaz de fusionarse una con otra mediante el calor, para poder llevar a cabo este proceso se han de seguir los siguientes pasos:

- Elaborar una matriz de fibras apiladas de cuero como una capa base
- Hacer un recubrimiento de la matriz con fibras de resina sintética, de tal manera que pueda derretirse y aglutinarse dentro de los espacios formados por la matriz de fibras de cuero.
- Se aplicará agua a presión por medio de jets para poder llevar a cabo la unión de ambos elementos, se utilizará una presión tan alta como 2200 PSI, y tendremos como material final una capa de compuesto entre 3 y 5 mm de espesor.

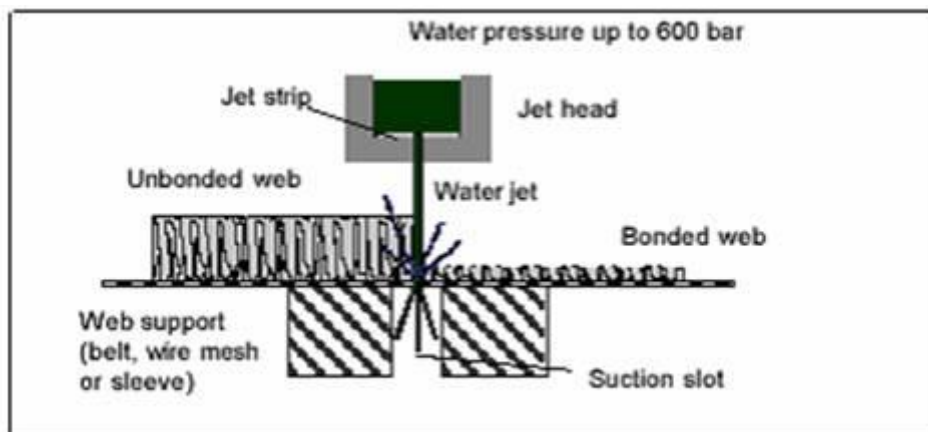


Figura 1.2 Proceso Hydroentaglement

Esta información se puede apreciar en los procesos seguidos por la patente americana publicada por Graham Bevan, donde lleva a cabo el proceso de formación de una capa de fibras de cuero junto con resinas utilizando jets de agua a presión.

El “Hydroentanglement” es un proceso de transferencia de energía (Ver figura 1.2), donde el sistema que provee la energía es el jet de agua a alta presión y la transfiere hacia el aglomerado. De esta manera podemos obtener un cálculo donde según el flujo de agua que tengamos, la cantidad de jets y el diámetro de la boquilla tengamos como resultado la energía transferida a la matriz.

Flow rate =  $P^{1/2} \times D^2 \times N \times 2572 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/hour/injector/meter

Energy =  $P^{3/2} \times D^2 \times N \times 7 \times 10^{-10}$  KWH/injector/meter

P= Presión de agua (bar)

D= diámetro de agujero (mm)

N= número de agujeros (por inyector por metro)

[Kamath, 2004]

### 1.2.3 Conformado por presión y calor

Considerando otro tipo de composición de nuestro aglomerante, ya sea una capa de resina o algún otro material sintético, tenemos un modelo para la composición del material siguiendo un procedimiento en cuanto a la relación de aglomerante con la viruta de cuero.

La relación carga: aglomerante fue preestablecido en 1 / 1 expresada en masa de sólido seco de ambos componentes.

La homogenización de la mezcla se efectúa mecánicamente y la formación del material a través de una presión variable (sin presión y 1 kg/cm<sup>2</sup>.)” [Schneider, 2012]

Una vez conseguidos los productos necesarios para la composición procedemos con el método de elaboración.

El segundo proceso a llevarse a cabo tanto en la composición para la tesis como en el informe, es el compactado de los productos.

“Con respecto al proceso de elaboración, una vez adoptada al relación aglomerante/carga, se procede a mezclar en forma homogénea dichas sustancias, se las introduce dentro de un molde y luego se las compacta.” [Schneider, 2012]

Este proceso es vital y debe ser debidamente analizado, ya que dependiendo de la fuerza de compactación se obtendrá una diferente densidad del producto final, variando así las propiedades mecánicas. Al utilizar una presión de compactación muy alta podemos

adquirir un material muy denso, se obtendrá una alta resistencia a la tracción, sin embargo perderá ductilidad, la cual es necesaria para poder darle la forma de suelas al producto y su utilización como la misma.

En caso contrario con una presión de compactación leve, lograríamos un material con menor resistencia a la tracción, es decir, más propenso a quebrarse o romperse. Es por esto que se deberá llegar a un equilibrio, una presión de compactación que permita llegar a un término medio ideal para el desempeño del producto.

De la misma manera como se busca proceder en la investigación, el informe citado realiza una serie de ensayos para determinar las propiedades mecánicas, conductividad y densidad del material. Esta información es vital para asegurar la buena composición del material y determinar las mejores características dependiendo de la composición del mismo.

Otro tipo de preparación directa del compuesto es mediante la presión en caliente de diferentes capas de materiales, proceso demostrado en la patente americana presentada por Palonam Industries en Estados Unidos, donde al utilizar una prensa con resistencias eléctricas a una temperatura en un rango de 110°C a 250°C, ejerciendo una presión que puede variar entre 100 PSI y 450 PSI, y dándole un tiempo de compactación entre 5 y 30 minutos se podrá llegar a conformar un material similar al necesario.

Los datos de temperatura, presión y tiempo varían dependiendo de las capas que se tengan del material de cuero y la resina utilizada, ya sean pocas capas de gran espesor (4mm) o muchas capas de bajo espesor (0.2mm).

En este proceso se utilizará una capa de la viruta cuero recuperado que ha de fusionarse con un recubrimiento de resina para poder lograr el compuesto.

### 1.3 Ensayos mecánicos

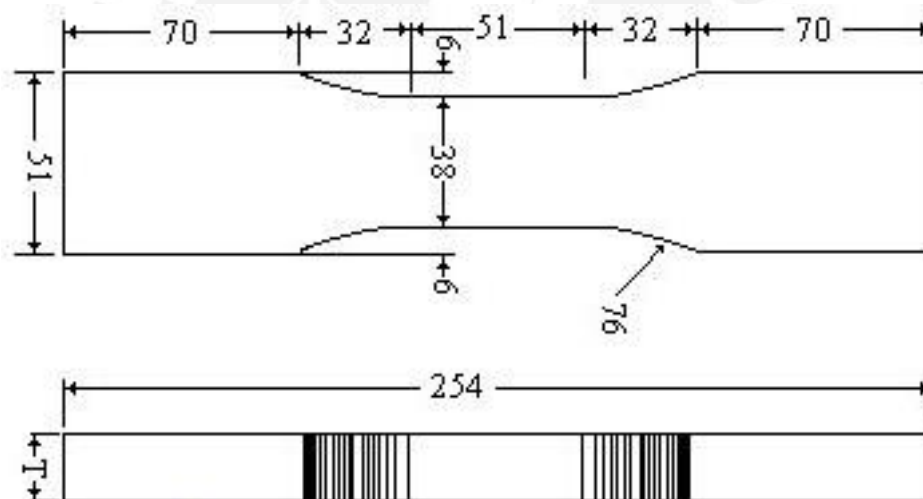
- Tracción: Máquina Zwick/Roell SP-600 diseñada para distintos tipos de ensayos, la muestra será sometida a ensayos de tracción siguiendo la norma ASTM D1037-06 adaptada
- Absorción de agua: La muestra ha de ser sometida a un proceso de inmersión posterior al pesaje de la muestra, de tal forma que al pesarla luego de la inmersión se pueda determinar el incremento de peso por absorción de agua. Se seguirá el procedimiento explicado por la Norma ASTM D570-98
- Densidad aparente: Equipo diseñado para determinar densidad según principio de Arquímedes, modificado para adecuarlo al material en ensayo” [Schneider, 20120]

Para esto se realizará el ensayo en base a la norma ASTM D1037-06.

Para poder estandarizar los resultados se procederá a llevar a cabo ensayos mecánicos a los diferentes tipos de compuestos obtenidos siguiendo las normas ASTM, de esta manera se podrá obtener resultados concretos en situaciones donde sólo alteremos una variable por ensayo.

### 1.3.1 Normas para el ensayo de tracción

Se ha de llevar a cabo el ensayo de tracción siguiendo los parámetros ASTM D1037-0 (Ver figura 1.3). Sin embargo dichos parámetros son utilizados para fibras de madera como refuerzo, dado el problema que no existe un proceso definido para el tipo de compuesto a realizarse, se debe adaptar la norma sugerida para conveniencia de la investigación.



**Figura 1.3** Diagrama de probetas para ensayo de tracción

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, las máquinas poseen un plotter digital que grafica en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída, esta información luego es mostrada en un software especial del equipo en cuestión. (Ver figura 1.4)

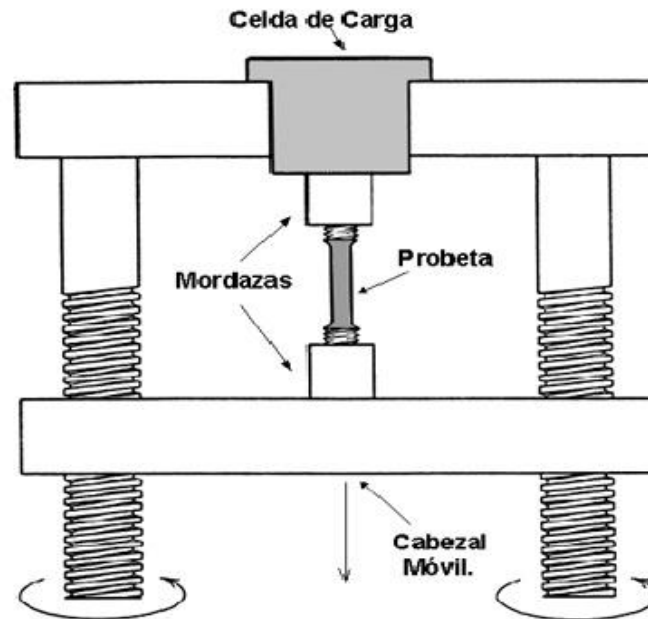


Figura 1.4 Ensayo de tracción

#### 1.4 Aplicación de material compuesto

El propósito de la tesis es realizar el estudio completo del compuesto de cuero con un plástico termoestable, y para poder realizar el estudio primero se debe determinar la composición ideal que brinde las mejores propiedades y características del material, es por esta razón que se realizarán diferentes composiciones siendo sometidas a los mismos ensayos.

El resultado de la investigación será de obtener un material compuesto que tenga propiedades parecidas sino mejores que el material utilizado para el trabajo de suela falsa hoy en día. (Ver figura 1.5)



Figura 1.5 Material utilizado como suela falsa por Boticentro S.A.



Figura 1.6 Diseño de calzado de seguridad con suela falsa<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Calzado de seguridad GLOBO <http://www.calzadoglobo.com/especificaciones-calzado-poliuretano.php>

El resultado final de la tesis es el de investigar los materiales compuestos de cuero recuperado y resina polimérica, sin embargo se desea que el producto final cumpla con ciertas características referidas al uso del producto como parte de calzado de seguridad. (Ver figura 1.6)

No existe mucha información acerca de este tipo de material compuesto ni de los métodos de fabricación del mismo, por lo tanto la investigación se enfocará en desarrollar los procesos de fabricación y determinar el mejor a partir de los resultados obtenidos de los ensayos.



## CAPÍTULO II

### Metodología experimental

A lo largo de este segundo capítulo, se explicará y demostrarán todos los procedimientos llevados a cabo para poder lograr el conformado del material compuesto, es decir las muestras. A partir de estas muestras se fabricarán probetas de acuerdo a la norma ASTM designada para los ensayos mecánicos.

Dado que la investigación involucra varios procesos de preparación previa para el material compuesto, se explicarán y detallaran los puntos más importantes para las lograr las mezclas óptimas de resina y aditivos como también la obtención de los distintos tipos de cuero.

#### 2.1 Materiales

De manera que podamos seleccionar la mejor composición y procesamiento del material, se realizarán diferentes pruebas con distintos tipos de materiales, variando así:

- a. El tipo de resina, se tomarán distintas pruebas con resinas termoestables de diferente composición.
- b. El tamaño y orientación de la fibra y partículas de cuero; es un aspecto vital para la experimentación ya que depende de esto la capacidad del material compuesto para soportar cargas, su dureza y resistencia.
- c. El material aditivo; dependiendo de las propiedades que se quiera agregar al material compuesto, existen distintos tipos de compuestos que pueden ser agregadas a la mezcla para variar alguna propiedad determinada o variar velocidades de curado.

##### 2.1.1 Resina

En la experimentación se utilizará un tipo de resina termoestable, la resina poliéster. Es este el material que nos dará las características necesarias para la función que debe de llevar a cabo el material compuesto. La composición y propiedad para funcionar como aglomerante facilitará la mezcla con el cuero en polvo y los pedazos retenidos por la malla 1 y 2.

- **Resina Poliéster**

La resina poliéster es una de las más utilizadas para este tipo de procesos, esto se debe a su facilidad de aplicación para el moldeo por contacto donde se requieren buenas propiedades de resistencia mecánica, además ofrece buena resistencia a la intemperie. Se utiliza bastante en laminados, es por ello que se utilizará para el proceso. Se requiere de un catalizador de estireno para poder acelerar el proceso.

Debido a las temperaturas necesarias para realizar el curado de la resina, no es indispensable el uso de hornos para precalentar el molde o planchas ni para aumentar la temperatura durante el proceso de endurecimiento, siendo así la opción más práctica y factible para llevar a cabo la investigación.

Dicha resina fue proporcionada por la empresa Comercial Giachetti.



**Figura 2.1** Resina poliéster

Trabajar con resina poliéster conlleva todo tipo medidas de seguridad, en principio se debe saber cómo reacciona cada uno de los componentes en la resina para estar atentos a cualquier inconveniente. En el momento que la resina empieza la etapa de curado, produce una reacción exotérmica liberando calor, esto libera vapores que son muy perjudiciales, es por eso que se debe estar preparado para manejar este tipo de producto, el cual viene en presentación tal como se puede observar en la figura 2.1.

Tales recomendaciones se pueden apreciar en la Hoja de Seguridad de la Resina Poliéster.

Durante el manipuleo de la resina se cuenta con respiradores, ropa de seguridad y guantes para evitar el contacto e inhalación de los vapores. De igual manera se ha de contar con un área ventilada donde exista un flujo de aire que evite la concentración de los vapores de la polimerización.

### 2.1.2 Cuero

Para el desarrollo de la parte experimental de la investigación utilizaremos el cuero recuperado en dos formas distintas que nos darán resultados diferentes. El cuero mantiene propiedades uniformes para ambos sub productos, esto es debido a que todo parte de la misma gama y del mismo proceso. Todas las planchas de cuero salen del mismo proceso de curtiembre y poseen el mismo contenido de cromo y humedad, de esta manera se evita tener variables incontrolables a lo largo de la experimentación.

#### **Cuero recuperado en polvo**

Este cuero es obtenido mediante un proceso de acabado final de las botas, se trabaja sobre los bordes imperfectos que sobresalen del conformado de la bota. Utilizando un esmeril se procede a limar los retazos sobresalientes para poder tener una capa lisa inferior para poder realizar el pegado de la suela, el desperdicio de este proceso, es decir, el cuero en polvo, resulta como materia prima principal para el desarrollo de la experimentación. El cuero es suministrado por la empresa Boticentro S.A. de su línea de producción.

Es indispensable que la materia prima se vea inalterable, por lo tanto las muestras deben ser controladas y el producto debe ser proveniente obligatoriamente del mismo tipo de cuero, de modo que restrinjamos las variables al mínimo.

Según sea el caso se deberá tamizar correctamente el cuero para evitar el paso de partículas y objetos no deseados a la mezcla. Como producto de un proceso de acabado final, junto con el cuero vienen diferentes tipos de desechos (ver figura 2.2) que se desprenden de la bota al realizar este proceso, tales como pedazos de hilo grueso, cuero en grandes tamaños, la expulsión de pequeños alambre de acero por parte del esmeril y otros pequeños objetos que pueden fácilmente acabar en el depósito del cuero en polvo. De modo que estos procesos puedan agilizarse y evitar así la separación de partículas, se recomienda que en adelante la empresa encargada, al tener que reutilizar el cuero, pongan énfasis en idea un sistema de mallado para solo permitir que sea el cuero en polvo el que ingrese al depósito.



**Figura 2.2** Cuero en polvo y desperdicios

### **Cuero particulado**

Opción conveniente para llevar a cabo la experimentación es tener el cuero en forma de tiras de distintos tamaños. Para obtener este producto debemos trabajar inalterablemente con el mismo cuero utilizado en las botas previamente establecido, es decir en un proceso previo al limado. Parte de la cadena de producción de las botas resulta en el desecho de trazos relativamente pequeños de cuero, identificados en la figura 2.3 (fracciones de 3 a 4cm), es por eso que se deberá picar dichos trazos para obtener así las dimensiones necesarias para llevar a cabo la fabricación del material compuesto.



**Figura 2.3** Merma de tiras de cuero

Este tipo de tiras de cuero son producto del desbaste de los grandes trozos de cuero, se le quita espesor y se le remueve la capa dura principal para dar forma y adornar el zapato. El proceso consiste en realizar un corte por el espesor de los trozos de cuero, donde la parte que tiene la cara lisa y dura es utilizada para partes del zapato como el taco o los bordes internos y externos, dando un acabado llamativo y más estable al zapato.

El proceso previo a la fabricación del material compuesto involucrará el picado de cuero manual, este proceso se lleva a cabo utilizando un juego de tijeras y cortando paulatinamente uno a uno todos los retazos de cuero para poder obtener el tamaño de partícula y cantidad deseada, esto para luego ser procesado por un colador de tamaño, obteniendo así un máximo de tamaño de trazo de cuero, el producto final se puede apreciar en la figura 2.4.

Partiendo de las propiedades del cuero y su tendencia a aglomerarse, del resultado del tamizado del cuero picado, únicamente utilizaremos la malla de retención 1 y 2, para retener las partículas menores a 5.15mm y 3.33mm respectivamente, de esta manera podemos establecer los distintos tipos de cuero a analizar para el conformado del material compuesto.



**Figura 2.4** Cuero picado tamaño de partícula MR2

### 2.1.3 Aditivos

Existen muchos diferentes aditivos que pueden ser utilizados para mejorar alguna propiedad de los materiales compuestos o alguna característica en especial; igualmente podemos encontrar diferentes compuestos que pueden acelerar el proceso de curado o dar mejores propiedades para el manejo de la resina.

Contamos con los siguientes productos destinados para la mejora y utilización:

#### **Iniciador**

Los peróxidos orgánicos, son la fuente de radicales libres empleada en la industria de procesado de poliéster, estos radicales libres son los que inician el proceso de polimerización, el curado en sí de la resina. Los peróxidos orgánicos básicamente funcionan como iniciadores ya que se consumen a manera que se lleva a cabo la reacción de polimerización.

Los peróxidos de cetona actualmente en el mercado usualmente son preparados y manufacturados junto con un agente plastificante, ya sea agua o cargas inertes, esto se debe a que el peróxido de cetona puro es muy peligroso para fabricar y manejar.

Para la investigación utilizaremos peróxido de metil etil cetona (MEK) (ver figura 2.5), este tipo de peróxido es de primera importancia, principalmente cuando es utilizado para llevar a cabo el curado a temperatura ambiente en conjunción con un acelerador de cobalto.

Este tipo de peróxido de cetona se caracteriza por su gran facilidad de manejo, seguridad y flexibilidad como catalizador de curado, es decir puede variar en porcentaje aumentando o disminuyendo tiempos de curado.

El MEK tiene fórmula molecular  $C_4H_8O$ , densidad de  $0.805 \text{ g/cm}^3$  y punto de ebullición de  $80^\circ\text{C}$ .



**Figura 2.5** Peróxido de MEK

### **Acelerador**

Dentro del campo de aplicaciones para poliéster insaturados, existe un compuesto que posee la habilidad de descomponer ciertos peróxidos orgánicos. Esta habilidad facilita considerablemente el uso de resinas poliéster, ya que logra poder procesar la resina en diferentes moldes sin la necesidad de utilizar presión para el conformado. Es por eso que tiene una tan amplia gama de usos.

Estos compuestos se llaman aceleradores o promotores, los cuales son capaces de descomponer un peróxido orgánico en radicales libres por debajo de las temperaturas críticas de los productos involucrados. No obstante que muchos han sido propuestos como aceleradores, solo unos cuantos se emplean en la industria para el propósito mencionado.

El acelerador que utilizaremos será un compuesto de cobalto: Octoato de Cobalto (ver Figura 2.6.).

Estos aceleradores son utilizados exclusivamente con peróxidos de cetonas (MEK).

El octoato de cobalto la siguiente fórmula molecular  $(C_8H_{16}O_2)_2Co$



**Figura 2.6** Acelerador octoato de cobalto

### **Desmoldante**

Para poder separar la resina del molde se utiliza un desmoldante líquido (ver figura 2.7). Los desmoldantes de uso común son productos en base a ceras líquidas que pueden ser aplicadas directamente al molde por medio de un pincel. El material excedente puede ser recuperado para una siguiente utilización sin problema. Una vez aplicada una fina capa de desmoldante esta se seca y endurece formando una película que protege y a su vez facilita el despegue de la resina del molde.



**Figura 2.7** Desmoldante líquido

## 2.2 Equipos empleados

### 2.2.1 Prensa hidráulica manual

Se utilizará una prensa hidráulica marca Paul Weber con una capacidad máxima de 20 toneladas, cuenta con un cabezal variable el cual puede adaptarse para ejercer una mejor y uniforme presión por sobre la superficie deseada. (Ver figura 2.8)



**Figura 2.8** Prensa Hidráulica Paul Weber

### 2.2.2 Mufla eléctrica

El proceso de post-calentamiento ha de llevarse a cabo en una mufla eléctrica con una temperatura máxima de calentamiento de 300°C con una precisión de 1°C, cuenta con un ventilador interno que permite la distribución uniforme del calor por todas las secciones internas de la mufla. (Ver figura 2.9)



**Figura 2.9** Interior mufla eléctrica

### 2.2.3 Balanza analítica

Para la determinación del peso de las partículas de cuero como también calcular la exacta relación de los insumos involucrados en la mezcla de la resina, se utiliza una balanza digital marca METTLER TOLEDO, la cual tiene una capacidad de 200g y una precisión de 0.1mg. (Ver figura 2.10)



Figura 2.10 Pesaje de polvo de cuero

#### 2.2.4 Molde de aluminio con tapa de acero

Molde de aluminio (paredes y base), plancha de acero inoxidable E304 y plancha de acero de bajo carbono para la parte superior. (Ver figuras 2.11, 2.12)



Figura 2.11 Despiece de Molde



**Figura 2.12** Molde Completo

**Medidas:**

Largo: 30cm

Ancho: 15cm

Altura: 3cm

**2.2.5 Equipo de tamizado**

Se utilizaron mallas de tamaño normalizado (MESH) (Ver figura 2.13) tal como se muestra en la siguiente tabla (ver tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Tamaño de partículas para cada malla

Malla	Malla Normalizada	Tamaño de partícula (mm)
MR 1	MESH – 4	$\leq 5.15$
MR 2	MESH – 6	$\leq 3.33$
MR 3	MESH – 10	$\leq 1.64$
MR 4	MESH – 18	$\leq 0.98$
MR 5	MESH – 35	$\leq 0.48$



Figura 2.13 Mallas de retención 1-5

## 2.3 Preparación de mezcla

La fabricación del material compuesto parte desde la selección de los elementos a utilizar, es decir, la elección y el tipo de preparación de la resina y la elección del cuero. El proceso para la fabricación del material compuesto nace a partir de los distintos tiempos para el curado, las distintas presiones de trabajo y las diferentes temperaturas a las que se someterá el material compuesto ya fabricado para poder finalizar con el proceso de curado.

Dado que todas estas variables no se encuentra definidas, se ha de idea un proceso lógico continuo donde una a una se vayan estableciendo las variables para poder finalmente dar con la fabricación ideal del material compuesto.

### 2.3.1 Preparación del cuero

Una vez recibida las mermas de cuero por parte de la empresa Boticentro S.A. se procede separar y ordenar.

Para las muestras de cuero en polvo, retazos de cuero rebajados utilizando un esmeril, se utilizaron diferentes tipos de mallas para poder diferenciar el tamaño de partícula y a partir de esto poder trabajar con el deseado.

Para la fabricación del material compuesto utilizaremos la malla retenida número 1, 2 y 5, tal como se puede apreciar en las figuras 2.14 y 2.15, de manera que podamos tener una variedad en el tamaño de partícula y obtener distintos resultados en cuanto a las propiedades de cada compuesto.



**Figura 2.14** Tamizado de cuero por malla 5

Al absorber humedad el polvo de cuero recibido por parte de Boticentro, tiende a formar grumos, a aglomerarse en pequeñas bolas, siendo esto perjudicial para la utilización y fabricación del material compuesto. A raíz de este problema es que se decidió por tamizar inclusive el polvillo recibido, de manera que también se eliminen las impurezas y residuos impregnados. El resultado del tamizado se puede observar en la figura 2.15.



**Figura 2.15** Producto de tamizado de malla 5

De igual manera se procede a trabajar con los pequeños trazos obtenidos del proceso descrito previamente para el cuero de tamaño mayor.

El proceso debe ser realizado cuidadosamente para evitar cortes desproporcionados, se utiliza una tijera convencional para poder reducir el tamaño de los trazos de cuero (ver figuras 2.16 y 2.17).

En recomendación este proceso debe realizarse por una picadora de tamaño industrial, de manera que mantengamos un tipo de tamaño de cuero estándar, el cual estará definido al finalizar la experimentación.



**Figura 2.16** Cuero en trazos



**Figura 2.17** Cuero picado

Una vez caracterizado el cuero en diferentes tamaños se procede a realizar la preparación del aglomerante, es decir, la preparación de la resina poliéster.

### **2.3.2 Preparación de resina**

El proceso para la preparación de la resina consta de dos partes principalmente. Una primera etapa considera evaluar las cantidades de compuestos añadidos que se necesitan para lograr tener un tiempo de curado adecuado para la reacción, es necesario calcular las proporciones necesarias de tal forma que utilicemos la menor cantidad de material y así no alterar significativamente las propiedades de la resina y ahorrar en el consumo de materiales.

Para esto se realizan pruebas previas, variando la cantidad de monómero de estireno, MEK y octoato de cobalto a utilizar.

Los productos para llevar a cabo la polimerización y la resina en sí fueron distribuidos por la empresa Giacchetti Comercial S.A., de esta manera podemos conocer las composiciones exactas de los productos suministrados.

Los productos suministrados, siguiendo las recomendaciones recibidas, fueron los siguientes (ver figura 2.18):

**Resina Poliéster** – Previamente mezclada con monómero de estireno al 20%

**Monómero de Estireno**

**Octoato de Cobalto** – En concentración de cobalto de 6%

**MEK** – Peróxido de Metil Etil Cetona



**Figura 2.18** Componentes para la preparación de la resina poliéster

Para poder calcular el tiempo de curado se realizan ensayos variando los porcentajes de octoato de cobalto y MEK, de manera que se pueda obtener el menor tiempo con los menores recursos. (Ver figura 2.19)

Se efectúan pruebas en cantidades de 50 gramos de resina y variando el porcentaje en peso de los demás productos. (Ver tabla 2.2)

El procedimiento es el siguiente:

- a) Se pesa 50 gramos de resina en un pequeño envase
- b) Dependiendo de las cantidades a emplear se añade cierta cantidad de peróxido de MEK, luego se agita ligeramente
- c) Posteriormente se agrega el acelerador de cobalto, al terminar finalizamos agitando la mezcla por un minuto.



**Figura 2.19** Prueba en 50gr de resina poliéster

- d) Se realizarán pruebas variando el contenido en peso de ambos, iniciando por el peróxido de MEK

Las diferentes cantidades a utilizar son las siguientes:

**Tabla 2.2** Ensayo variando cantidad de peróxido de MEK

Ensayo	W resina (g)	W Peróxido de MEK (g)	W Octoato de Cobalto (g)
1	50	1	1
2	50	2	1
3	50	3	1
4	50	4	1

Se inicia con una muy baja concentración (2% del peso de la resina) de Octoato de cobalto debido a que no es requerido en grandes cantidades para poder acelerar el proceso.

De acuerdo al resultado entregado en el ensayo previo analizando el mejor tiempo de curado, se selecciona la cantidad a utilizar de peróxido de MEK, esta se verá inalterable para los siguientes ensayos.

- e) De la misma manera se lleva a cabo la experimentación para la variación de octoato de cobalto (una vez definido la cantidad de peróxido de MEK). (Ver tabla 2.3)

**Tabla 2.3** Ensayo Octoato de Cobalto

Ensayo	W Resina (g)	W Peróxido de MEK (g)	W Octoato de Cobalto (g)
1	50	2	1
2	50	2	2
3	50	2	3
4	50	2	4

Siguiendo la lógica de los procesos, ahora establecidos ambos parámetros según el tiempo de curado, se procede a insertar una última variable al proceso de combinación de resina poliéster para la fabricación del material compuesto.

- f) La última variable del proceso viene a ser el contenido de monómero a utilizar en la mezcla.

Es necesario incrementar el porcentaje de monómero de estireno ya que brinda una mayor facilidad para la maniobrabilidad de la resina, reduciendo la viscosidad de la misma y permitiendo un manejo ideal para la mezcla con los refuerzos de cuero.

En la siguiente tabla podemos apreciar las diferentes cantidades utilizadas. (Ver tabla 2.4)

**Tabla 2.4** Ensayo monómero de estireno

Ensayo	W Monómero de estireno (g)	W Resina (g)	W Peróxido de MEK (g)	W Octoato de Cobalto (g)
1	5	50	2	1
2	10	50	2	1
3	15	50	2	1
4	20	50	2	1

En la figura 2.20 podemos apreciar el resultado entregado por una combinación ideal de las variables establecidas.

**Figura 2.20** Resultado 50gr, 20% mono, 4% MEK, 2% Cobalto

Al realizar las pruebas se podrá determinar la cantidad ideal y necesaria para la mezcla de octoato de cobalto y peróxido de MEK con la resina poliéster, considerando los tiempos necesarios de curado para poder llevar a cabo la fabricación.

Para el caso de cantidad de utilización de monómero de estireno, la primera recomendación del distribuidor fue de utilizar entre 30 y 40%, es decir añadirle a la resina entre 10 y 20% más para facilitar su uso y disminuir la viscosidad de resina.

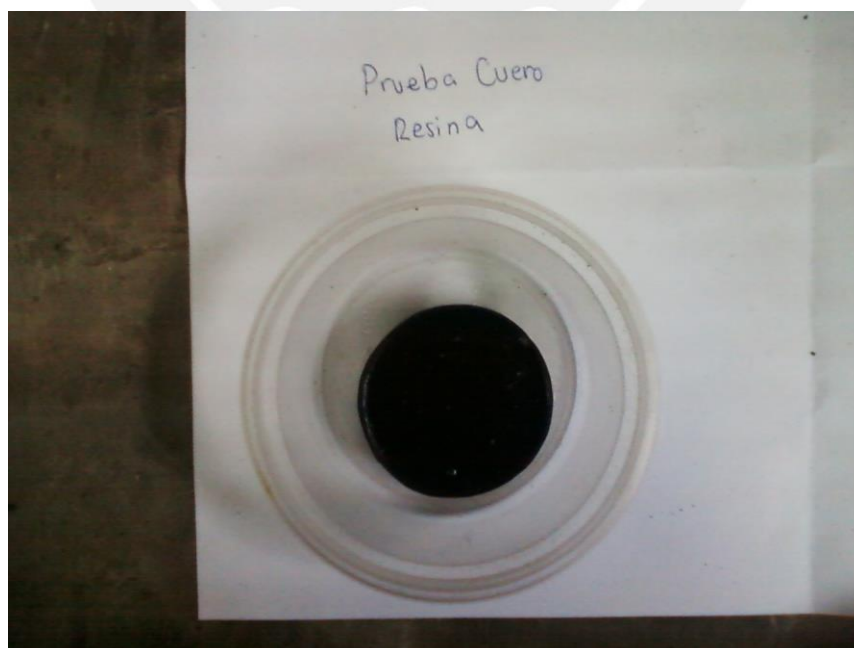
Debido a que el trabajo de fabricación del material compuesto se iba a realizar en su mayoría con partículas extremadamente pequeñas, se decidió tomar los valores de 5, 10, 15 y 20 gramos para la experimentación, valores que representan el 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente añadidos en el ensayo.

De este proceso óptimo se obtiene un tiempo de curado ideal, diseñado para poder llevar a cabo los procesos de mezclado con la fibra y moldeado.

Es necesario es indispensable determinar el tiempo exacto de curado de la resina para poder llevar a cabo el proceso de fabricación, esto es debido a que el material no tendrá la capacidad de polimerizar si es prensado de manera muy vertiginosa o si el tiempo de mezclado es muy rápido, repercutiendo negativamente al momento de prensar el molde.

Esto se revela como pérdidas de la resina sin curar por los bordes del molde, dejando así el cuero compactado mas no aglomerado.

Es por esta razón que también se debe llevar a cabo un ensayo para determinar el tiempo de curado de la mezcla de resina ya establecida junto con el cuero en polvo, ya que esta es la verdadera mezcla que debemos cronometrar para poder definir y establecer el proceso exacto de fabricación. (Ver figura 2.21)



**Figura 2.21** Prueba Resina – Cuero

Una vez definidos ambos parámetros para los productos destinados para la elaboración del material compuesto, se procede a concretar el proceso de fabricación per se. Dicho proceso para la fabricación a utilizar consta de dos partes principalmente.

## 2.4 Fabricación de muestras de material compuesto

### 2.4.1 Moldeo

Es el proceso de manufactura para materiales compuestos, donde se tejen de hilos de fibras refuerzo (en este caso el cuero) que son impregnados de una resina (en este caso resina poliéster. Para el material de cuero en polvo, se opta por mezclar ambos productos constantemente hasta llegar a una consistencia pareja, donde todas las partículas de cuero puedan ser aglomeradas por la resina preparada. A groso modo el proceso ocurre de la siguiente forma:

1. Se vierte el cuero en polvo en un molde abierto, según el tipo de composición que se quiera obtener
2. Se vierte la resina poliéster previamente preparada, ésta debe mezclarse uniformemente para poder aglomerarse y curar con el cuero.
3. Una vez vertida la resina en el molde abierto con el cuero, se procede a realizar la mezcla, utilizando guantes de látex se mezclan ambos productos logrando una consistencia pareja entre ambos, el cuero debe estar totalmente mezclado para evitar pérdidas al momento de ponerlo en el molde a utilizar. (Ver figura 2.22)



**Figura 2.22** Mezcla uniforme entre ambos materiales

4. Se mezcla por unos 10 minutos hasta lograr un pequeño endurecimiento de la mezcla.
5. A su vez se debe ir preparando el molde. La preparación del molde consta de ir añadiendo el desmoldante a todas las superficies que entrarán en contacto con la mezcla, una vez esparcido se debe dejar secando por unos minutos, para agilizar esto se ubica frente a un ventilador. (Ver figura 2.23)



**Figura 2.23** Secado de desmoldante

6. Una vez logrado el objetivo del punto 4, se procede a colocar la mezcla en el molde a utilizar para las muestras.
7. Con la mezcla esparcida correctamente, se coloca la tapa del molde para poder lograr una distribución homogenizada del material compuesto.

Una vez finalizado los pasos descritos, continúa la etapa de curado. Es en esta parte del proceso donde existen la mayor cantidad de variables que pueden repercutir en la calidad y propiedades del material en sí.

La etapa empieza tal como se muestra en el molde de la figura 2.24, con la tapa colocada de manera que al momento del contacto por presión tenga una compactación uniforme a lo largo de toda la superficie de trabajo.



**Figura 2.24** Molde lleno cerrado, listo para iniciar curado

#### 2.4.2 Precurado

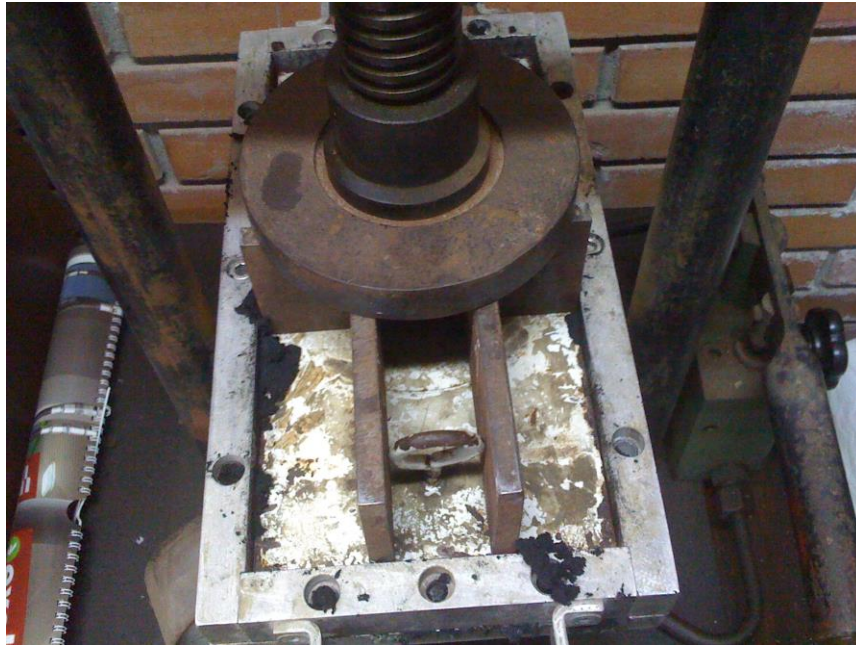
La combinación de peróxidos de cetona – cobalto ofrece un método casi ideal para el curado a temperatura ambiente. La velocidad de curado se puede ajustar fácilmente variando la cantidad de acelerador o de peróxido.

El fraguado del material compuesto utilizando el molde en operación, consiste en comprimir y polimerizar el compuesto (proceso de precurado). (Ver figura 2.25)

Dependiendo de las propiedades a darle al material, utilizaremos diferentes presiones de trabajo.

Los pasos a seguir en esta etapa de curado son los siguientes:

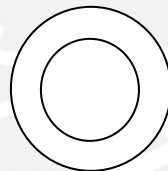
1. Se debe colocar sobre el molde dos placas que servirán para poder distribuir las cargas de manera uniforme.



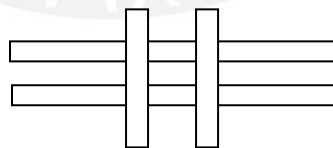
**Figura 2.25** Molde bajo presión

2. Tal como se puede apreciar se utilizan dos estructuras de acero para poder distribuir la carga, tienen la siguiente forma.

**Gráfico 1.** Estructura Circular



**Gráfico 2.** Estructura tipo cruz



3. La presión de trabajo puede variar entre 5 ton y 20 ton, dependiendo de la densidad y compactación que se quiera dar al material.
4. De igual manera el tiempo de curado en compactación puede variar, para casos prácticos se establece un tiempo estándar de 30 y 45 minutos bajo presión.

5. Una vez finalizado el tiempo de compactación se retira la presión y se deja reposar por unos minutos, de esta manera es más fácil despegar el material gracias al desmoldante.
6. Finalmente se procede a desarmar el molde para poder retirar la muestra, tal como se puede apreciar en la figura 2.26 y 2.27.



**Figura 2.26** Muestra final en molde (sin tapa)



**Figura 2.27** Desarmado de Molde, retiro de muestra

### 2.4.3 Prensado

Para el proceso de compactación estaremos trabajando con un rango de presiones para poder determinar el mejor comportamiento del material, de igual manera procederá con la temperatura del curado de la mezcla.

1. Mezclado de resina poliéster con el cuero
  - a. Se vierte la mezcla en un contenedor donde se encuentra el cuero
  - b. Se mezcla todo el cuero con la resina por un tiempo de 10 min hasta que la resina cubra todas las partículas de cuero. Luego se procede a colocar la mezcla en el molde. (Ver figura 2.28)



**Figura 2.28** Mezcla Lista para compactar

2. Se coloca en la prensa y empiezan los distintos procesos de presión durante el curado.

#### Procesos de presión durante el curado:

- P1: se somete la muestra a 5 toneladas durante 30 minutos
- P2: se somete la muestra a 20 toneladas durante 30 minutos
- P3: se somete la muestra a 5 toneladas durante 45 minutos
- P4: se somete la muestra a 20 toneladas durante 45 minutos

- P5: se somete la muestra a 5 toneladas durante 10 minutos seguido de 20 toneladas a 20 minutos
- P1C: se somete la muestra a 5 toneladas durante 30 minutos y un post calentamiento a 50°C durante 2 horas

Por lo tanto obtendremos la siguiente relación de procesos. (Ver tabla 2.5)

**Tabla 2.5** Procesos a emplear

Proceso 1 (P1)		Proceso 2 (P2)	
Tiempo	30 min	Tiempo	30 min
Presión	5 ton	Presión	20 ton

Proceso 3 (P3)		Proceso 4 (P4)	
Tiempo	45 min	Tiempo	45 min
Presión	5 ton	Presión	20 ton

Proceso 5 (P5)	
Tiempo	10 min
Presión	5 ton
Tiempo	20 min
Presión	20 ton

(Proceso mixto)

Las muestras tendrán el siguiente rotulado:

Manteniendo una composición de 75% cuero y 25% resina y tamaño de partícula de la malla de retención número 5

Ejemplo de código de la muestra: **MR5-75/25.P1**

MR5: Malla de retención número 5

75/25: Cantidad de cuero (%), cantidad de resina (%)

P1: proceso de 5 toneladas por 30 minutos

A partir de las muestras de medidas estándar (300mm x 150mm) obtenemos las probetas a ser ensayadas por la máquina de tracción Zwick/Roell SP-600 de manera que se determine el mejor proceso de fabricación de acuerdo a las propiedades obtenidas.

#### **2.4.4 Curado**

La resina poliéster tiene la característica de mantener diferentes velocidades de curado a lo largo del proceso, la primera etapa es la de curado rápido, donde las partículas comienzan el proceso de polimerización y se aglomeran reuniendo el refuerzo de fibra (cuero), la segunda etapa del curado es un proceso lento que va variando dependiendo de la cantidad de resina utilizada, durante este proceso el material va endureciendo lentamente aumentando así las propiedades mecánicas del compuesto.

Una manera de acelerar este proceso es sometiendo al material compuesto a un post-calentamiento, donde se verá sometido a diferentes temperaturas.

De manera que se pueda determinar la temperatura y tiempo de post-calentamiento ideal, el material compuesto, manteniendo las mismas características, debe someterse a diferentes condiciones de post-calentamiento: (Ver tabla 2.6)

**Tabla 2.6** Post-Calentamiento

Temperatura	Tiempo
50°C	1 hora
50°C	2 horas
75°C	1 hora
75°C	2 horas
100°C	1 hora
100°C	2 horas

El rango de temperaturas establecido entre 50°C y 100°C, nos ha de brindar resultados adecuados para la posterior selección de la temperatura a utilizar. Dado a que la temperatura máxima de trabajo (temperatura de distorsión) de la resina poliéster es de 140°C el material compuesto sufrirá degradación alguna.

Una vez definido el proceso de fabricación y obtenido el resultado del material con las mejores propiedades mecánicas, se procede a concretar la temperatura ideal para el post-calentamiento.

Esta temperatura ha de ser la correcta para que se lleve a cabo en su totalidad el proceso de curado del material compuesto.

Una vez fabricado el material, se debe colocar las piezas en la mufla eléctrica a diferentes temperaturas, por diferentes espacios de tiempo (Ver figura 2.29)

- 50°C : 1 hora – 2 horas
- 75°C : 1 hora – 2 horas
- 100°C: 1 hora – 2 horas



**Figura 2.29** Mufla Eléctrica

Finalizado el post-calentamiento, las probetas tendrán el siguiente rotulado:

Ejemplo de código de la muestra: MR5-75/25P5-752

75.2: Muestra para 75°C durante 2 horas

A partir de las muestras de medidas estándar (300mm x 150mm) obtenemos las probetas a ser ensayadas por la máquina de tracción Zwick/Roell SP-600 de manera que se determine el mejor proceso de post-calentamiento de acuerdo a las propiedades obtenidas.

Finalmente podemos plasmar todas las variables en el siguiente diagrama.

Para poder lograr el mejor proceso de fabricación, se debe ir analizando una por una la mejor técnica y proceso, es decir manteniendo una sola variable se debe fabricar para luego ensayar y así poder analizar los resultados por cada cambio realizado.

(Ver figura 2.30)

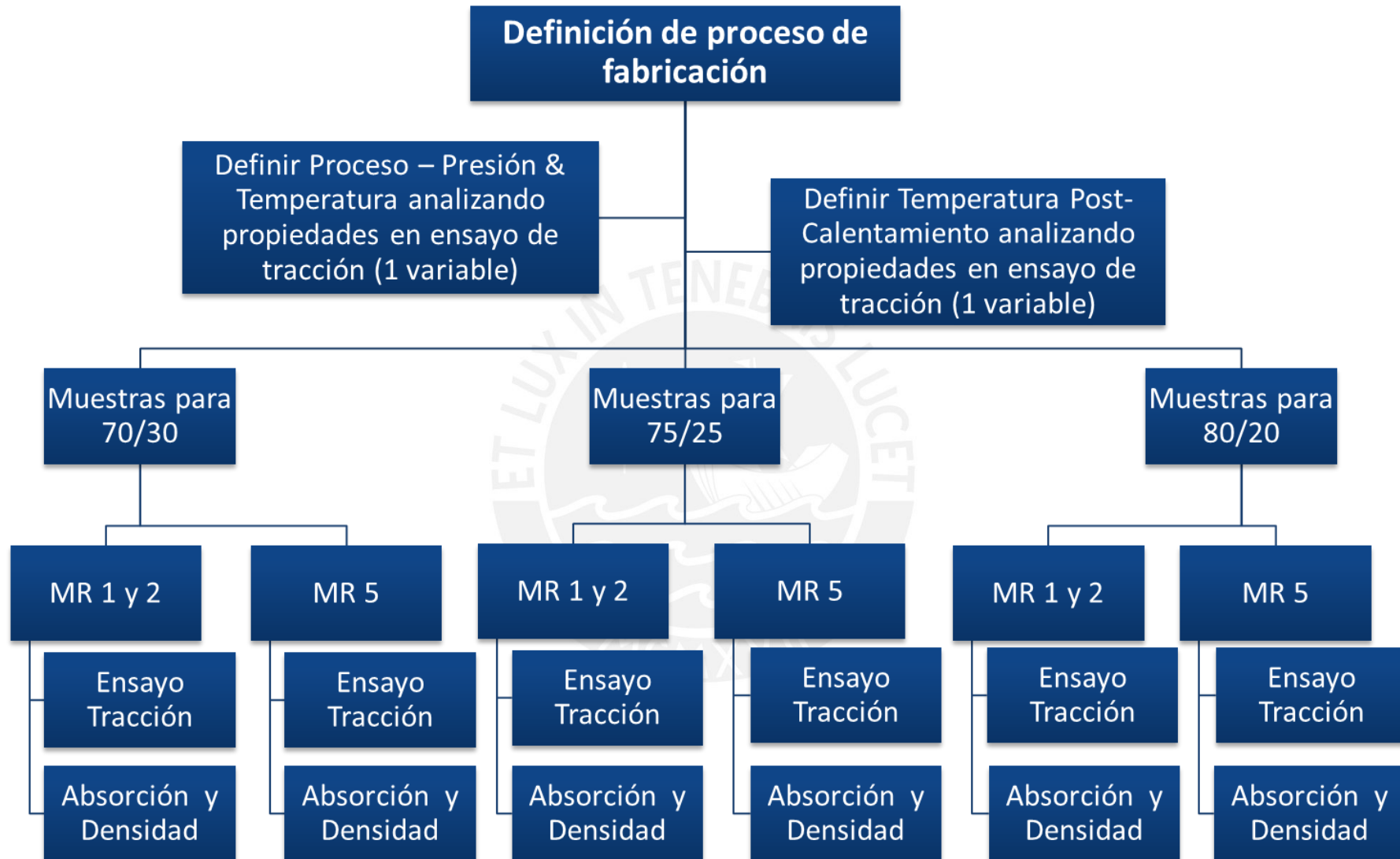


Figura 2.30 Diagrama de flujo ensayo de probeta

### 2.4.5 Diseño experimental

Combinaciones de constituyentes

Se deben tomar en cuenta las diferentes segmentaciones hechas previamente del cuero para poder desarrollar los materiales compuestos debido a existen diferentes combinaciones para poder llevar a cabo la experimentación e investigación. Para poder mantener un orden se llamará a cada combinación con un nombre y en base a eso procede a realizar los experimentos variando así también la relación en peso o volumen de ambos materiales. (Ver tabla 2.7)

**Tabla 2.7** Materiales

Material	Resina
Cuero en polvo	Poliéster
Cuero en tiras (Malla 1)	Poliéster
Cuero en tiras (Malla 2)	Poliéster

Combinaciones para la fabricación (Ver tabla 2.8)

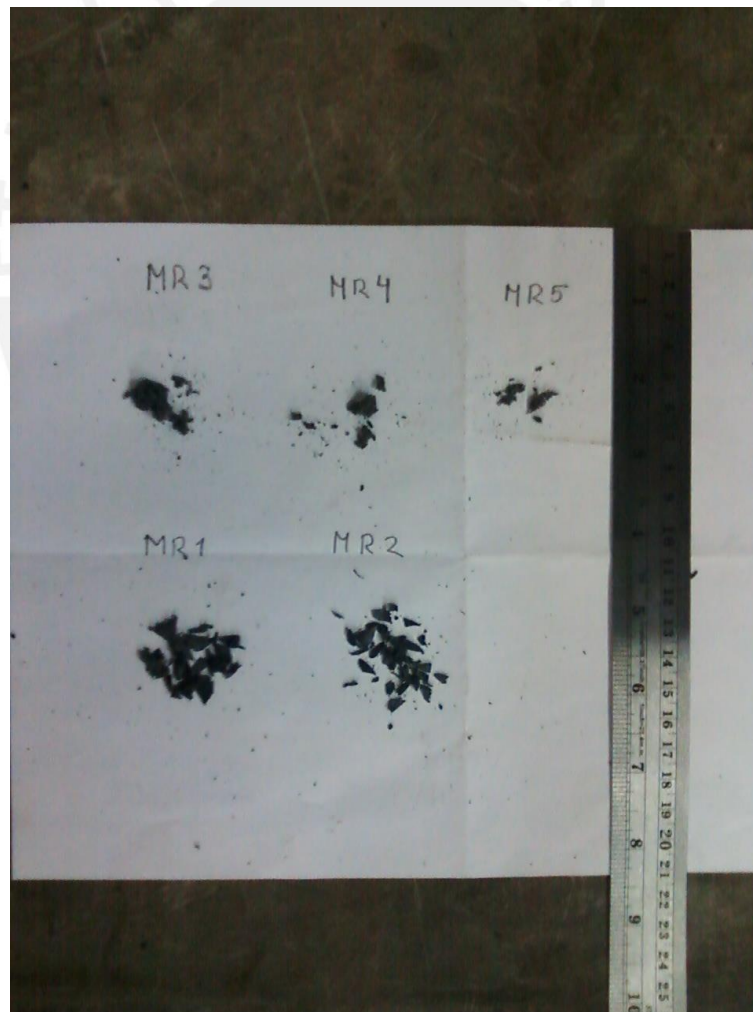
**Tabla 2.8** Combinaciones

Combinaciones	Nombre
Cuero polvo / resina poliéster (MR-5)	MR5
Cuero en tiras / resina poliéster (MR-1)	MR1
Cuero en tiras / resina poliéster (MR-2)	MR2

Cabe resaltar las propiedades del cuero para la selección del tamaño de partícula. Siendo el cuero un material con una alta capacidad de absorber agua, éste tiende a aglomerarse por sí solo al reducir su tamaño de partícula, es decir el cuero en polvo tiende a humedecerse y formarse pequeñas agrupaciones del mismo que no pueden ser separados ni tamizados debido a la cantidad de humedad que absorbe.

Se realizaron todos los niveles de tamizados donde la diferencia entre el tamaño de partícula se apreciaba hasta cierto punto, y aquél punto era a partir de la malla de retención número 3, de ahí en adelante el tamaño de partícula luego de ser separado y etiquetado tendía a agruparse y pegarse, haciendo inútil el trabajo de tamizado previo.

En la siguiente figura se muestra el tamaño de cuero para los niveles de tamizado. (Ver figura 2.31)



**Figura 2.31** Diferencia en tamaño de partícula

### Relación en volumen de materiales

Teniendo los materiales definidos se procederá a llevar a cabo la relación en fracción de volumen, variando entre 25% de fibra 75% de resina, 50-50% y 75% - 25%.

Igualmente se procederá a realizar composiciones donde el material principal sea el cuero, es decir partiendo de 70% cuero y 30% resina en adelante, hasta poder conseguir un porcentaje donde el material compuesto sea estable y cumpla con las propiedades requeridas.

Las relaciones de volumen de ambos materiales serán las siguientes: (Ver tabla 2.9)

**Tabla 2.9** Proporción de contenido

**Denominación: 70/30**

Cuero	Resina
70%	30%

**Denominación: 75/25**

Cuero	Resina
75%	25%

**Denominación: 80/20**

Cuero	Resina
80%	20%

Se opta por este tipo de composición debido a que estaremos utilizando las mermas y desperdicios de la cadena de producción de la fabricación de botas, esto quiere decir que mientras más de estos desechos útiles utilicemos, más fructíferos serán los resultados para la empresa destinada.

De esta manera podremos obtener diferentes propiedades para las mismas mezclas (MR1, MR2, MR5).

El objetivo principal es determinar el tipo de composición ideal para llevar a cabo la fabricación del material compuesto, se ejecutan las distintas mezclas y se analizan los resultados.

Dadas las siguientes relaciones:

Se realizaron ensayos de densidad para cada uno de los componentes a trabajar (Ver tabla 2.10)

**Tabla 2.10** Densidad de Materiales

Densidad de materiales		
Cuero en polvo	0.29	g/cm <sup>3</sup>
Resina	1.0716	g/cm <sup>3</sup>
Tiras de cuero	0.334	g/cm <sup>3</sup>

Analizamos el volumen del material que debería ocupar para poder obtener las muestras, el valor dependerá del espesor de las probetas en cuestión.

ESPESOR REQUERIDO:	6	mm
LARGO	300	mm
ANCHO	150	mm
VOLUMEN:	2,7	*10 <sup>(-4)</sup> m <sup>3</sup>

En base a esta información calculamos el peso que debería de ir en cada muestra, dependiendo de la relación de cantidad de porcentaje de ambas partes.

La determinación del contenido de cuero y resina se realiza en función al volumen a ocupar en el molde siguiendo la siguiente fórmula.

$$W_{\text{cuero}} = (\text{Vol}_{\text{total}} \cdot \rho_{\text{cuero}}) \cdot \% \text{vol. cuero}$$

$$W_{\text{resina}} = (\text{Vol}_{\text{total}} \cdot \rho_{\text{resina}}) \cdot \% \text{vol. resina}$$

Así podemos obtener la siguiente relación de pesos para los porcentajes de cada componente del material compuesto (Ver tabla 2.11)

Tabla 2.11 Relación en peso de componentes

	Componentes		MR5 (gr)		MR2 (gr)		MR1(gr)	
	% Cuero	% Resina Poliéster	W cuero	W resina poliéster	W cuero	W resina poliéster	W cuero	W resina poliéster
<b>MUESTRA 70/30</b>	70	30	54.81	86.8	63.13	86.8	63.13	86.8
<b>MUESTRA 75/25</b>	75	25	58.73	72.33	67.64	72.33	67.64	72.33
<b>MUESTRA 80/20</b>	80	20	62.64	57.87	72.14	57.87	72.14	57.87

De esta manera se puede preparar las siguientes muestras para realizar los respectivos ensayos. (Ver tablas 2.12, 2.13 y 2.14)

Tabla 2.12 Diseño experimental MR1

Serie	Probeta	Muestra	% cuero	% resina	b (mm)	d (mm)	L (mm)
1	1	MR1-70/30P5100	70	30	37.3	3.04	50
2	2		70	30	36.8	3.34	50
3	3		70	30	35.83	3.3	50
4	1	MR1-75/25P5100	75	25	34.49	2.64	50
5	2		75	25	33.8	2.79	50
6	3		75	25	37.61	3.01	50
7	1	MR1-80/20P5100	80	20	35.78	2.9	50
8	2		80	20	37.14	3.04	50

Tabla 2.13 Diseño experimental MR2

Serie	Probeta	Muestra	% cuero	% resina	b (mm)	d (mm)	L (mm)
1	1	MR2-70/30P5100	70	30	38.79	3.00	50
2	2		70	30	36.98	2.94	50
3	3		70	30	35.71	3.15	50
4	1	MR2-75/25P5100	75	25	37.17	2.8	50
5	2		75	25	36.83	2.72	50
6	3		75	25	35.72	2.71	50
7	4		75	25	39.05	3.1	50
8	1	MR2-80/20P5100	80	20	37.34	2.86	50
9	2		80	20	35.78	2.85	50

Tabla 2.14 Diseño experimental MR5

Serie	Probeta	Muestra	% cuero	% resina	b (mm)	d (mm)	L (mm)
1	1	MR5-70/30P5100	70	30	37.17	2.63	50
2	2		70	30	36.76	2.62	50
3	3		70	30	34.35	2.73	50
4	4		70	30	37.21	2.62	50
5	1	MR5-75/25P5100	75	25	36.79	2.56	50
6	2		75	25	37.54	2.75	50
7	3		75	25	34.67	2.64	50
8	4		75	25	36.96	2.81	50
9	5		75	25	35.96	2.56	50
10	6		75	25	35.83	2.68	50
11	7		75	25	36.91	2.62	50
11	1	MR5-80/20P5100	80	20	36.92	2.31	50
12	2		80	20	36.59	2.65	50
13	3		80	20	36.57	2.85	50

## 2.1 Realización de ensayos a las probetas obtenidas

Con el objetivo de poder determinar y seleccionar los procesos óptimos para la fabricación de las muestras y a su vez determinar sus propiedades, se opta por llevar a cabo los siguientes ensayos:

- Ensayo de tracción según la norma técnica ASTM D1037-06
- Ensayo de densidad según la norma técnica ASTM D1037-06
- Ensayo de absorción de agua según la norma técnica ASTM D570-98

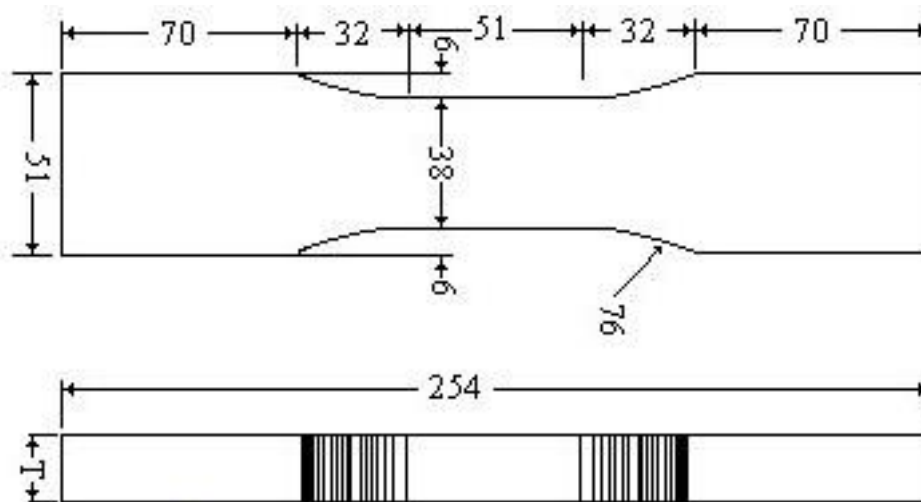
### 2.1.1 Ensayos de tracción según Norma Técnica ASTM D1037-06

Debido a que no existe norma alguna que determine los procesos para llevar a cabo la evaluación de las propiedades mecánicas de un material como el fabricado, se ha de adaptar una norma existente relacionada para poder obtener resultados concretos.

Conociendo esto es que se toma la norma para el análisis de materiales compuestos de fibras y partículas de madera, teniendo en común el refuerzo de un material aglomerado por un plástico termoestable.

Este ensayo nos brinda resultados donde podremos comparar la adhesión del material compuesto fabricado y compararlo con los distintos valores que han de obtenerse de las distintas composiciones.

El ensayo se lleva a cabo utilizando el equipo Zwick/Roell SP-600, el cual deberá someter a un esfuerzo de tracción a las probetas de cuero y resina poliéster entallada según la norma ASTM D1037-06. (Ver figura 2.32)



**Figura 2.32** Dimensiones de la probeta de material compuesto para ensayo de tracción

#### Datos de probetas

- Las probetas llevarán una nomenclatura indicando la composición y el número de probeta tal como el siguiente ejemplo:  
MR1-70/30P5100

Para poder constatar las medidas obtenidas del proceso de fabricación y determinar así los esfuerzos de tracción y módulo de elasticidad de los materiales compuestos utilizaremos un vernier digital calibrado por INDECOPI vigente a la fecha. (Ver figuras 2.33, 2.34, 2.35, 2.36 y 2.37)



Figura 2.33 Instrumentos utilizados para la medición

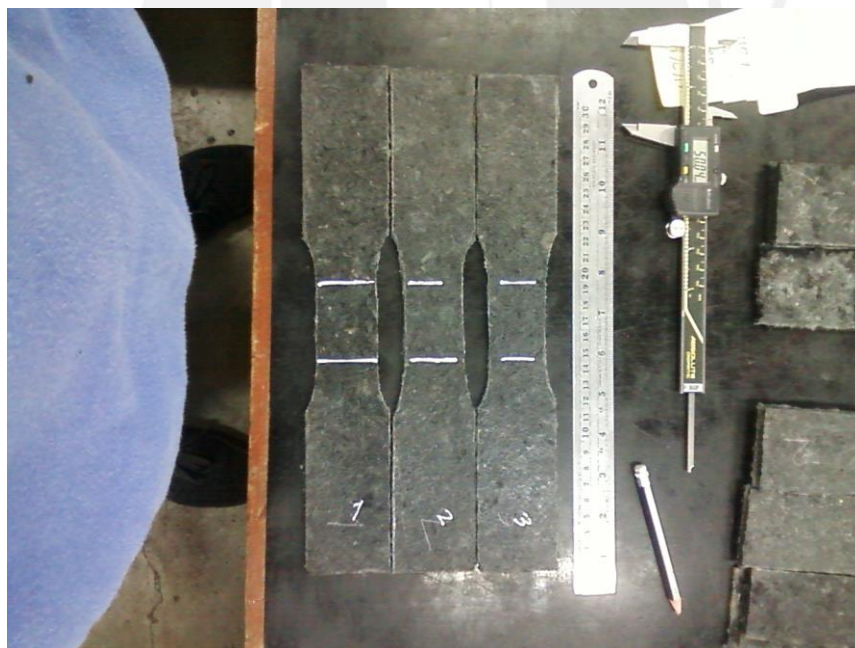
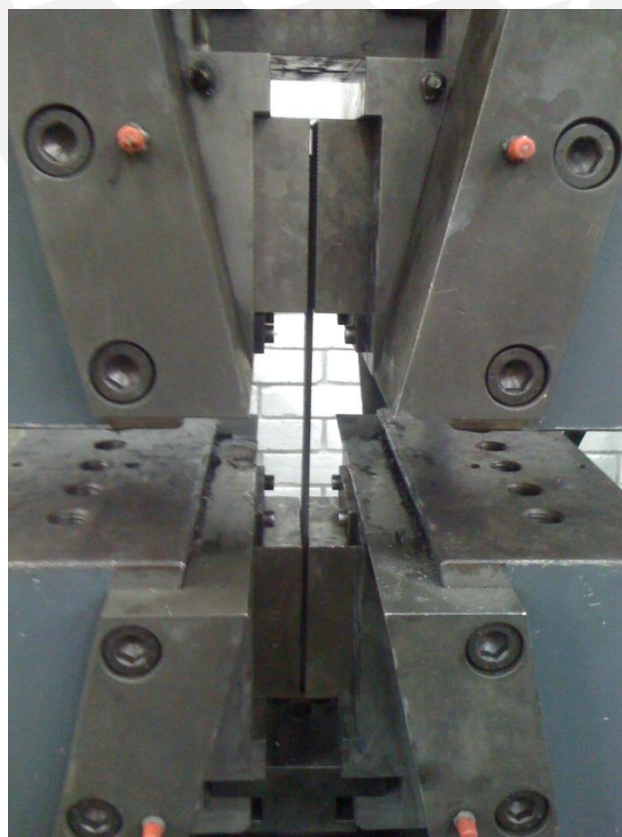


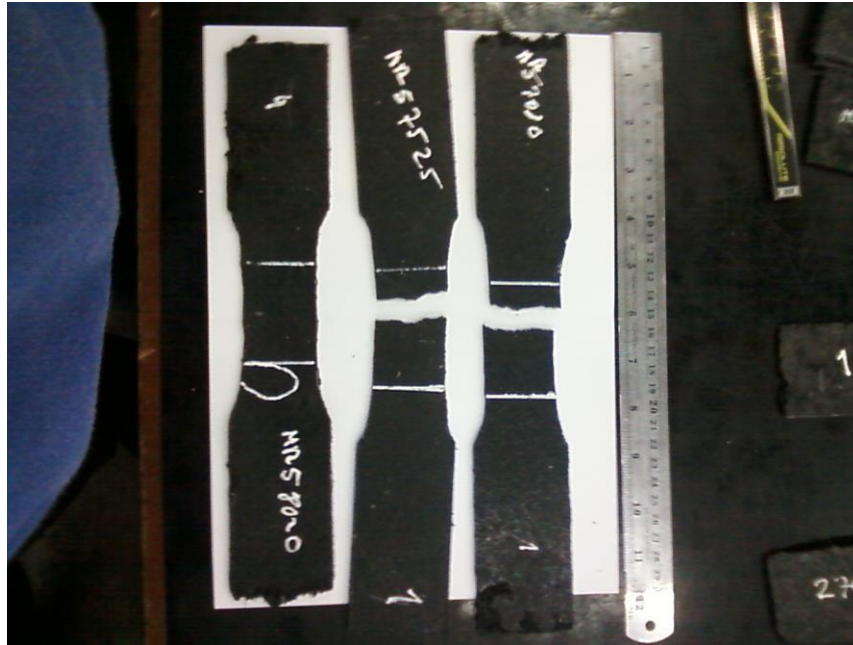
Figura 2.34 Probetas a ser ensayadas



Figura 2.35 Equipo para ensayo de tracción Zwick/Roell SP-600



**Figura 2.36** Ensayo de Tracción de material compuesto



**Figura 2.37** Probetas de tracción luego de ser ensayadas

### 2.1.2 Ensayo de absorción de agua según Norma Técnica ASTM D570-98

El ensayo se realizó siguiendo el procedimiento explicado por la Norma ASTM D570-98 (Standard Method for Water Absorption of Plastics)

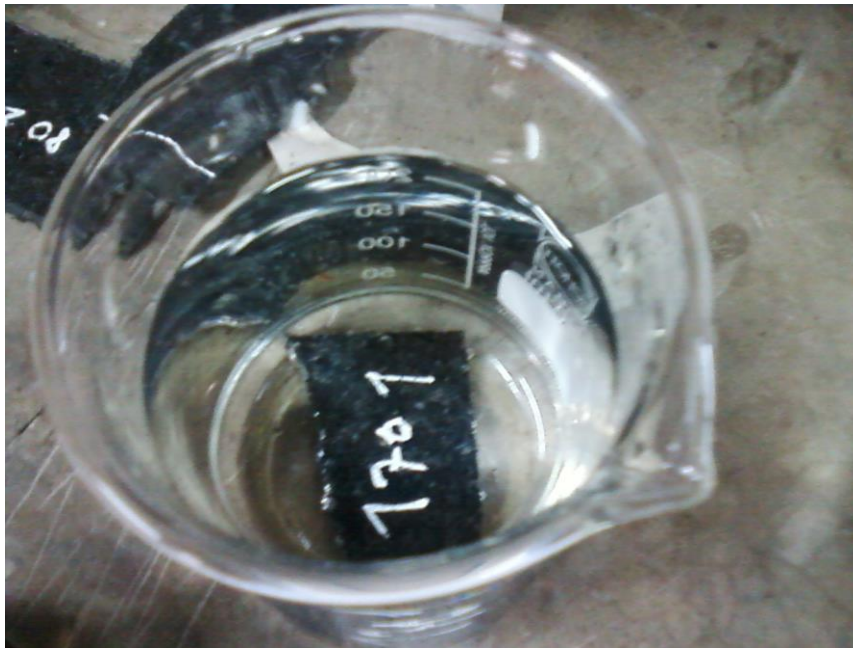
Se llevará a cabo el procedimiento 7.1 de la norma donde indica la inmersión del objeto en cuestión por un lapso de 24 horas, luego del cual será removido, limpiado con un paño y pesado inmediatamente.



**Figura 2.38** Pesado para ensayo de absorción de agua

A agua : absorción de agua  
W húmedo : peso húmedo  
W seco : peso seco de la muestra

Se realizará el ensayo a tres muestras distintas de cada material compuesto y se analizarán los resultados promedios de éstas. (Ver figuras 2.38 y 2.39)



**Figura 2.39** Inmersión para ensayo de absorción de agua

Para poder realizar el ensayo de densidad se utilizará la balanza electrónica METTLER TOLEDO con los respectivos accesorios, dicha balanza es proporcionada por el área de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

### 2.1.3 Ensayo de densidad según Norma Técnica ASTM D1037-06

Los ensayos de densidad tuvieron que adaptarse en base a la norma ASTM D1037-06, la cual es utilizada para la evaluación de propiedades de materiales compuestos de fibras y partículas de madera, al no existir una norma específica para realizar el procedimiento con partículas de cuero. Sin embargo esta adaptación es considerada válida y por lo tanto los resultados entregados han de ser concisos y adecuados para la investigación. Se tomó la sección de la norma para la prueba de contenido de humedad por peso específico.

Para este caso los parámetros son los siguientes:

A: Peso de la muestra en seco

B: Peso de la muestra sumergida en el líquido

P: Empuje del sólido en el líquido

$\rho$ : densidad de la muestra

Se realizará el ensayo a tres muestras distintas de cada material compuesto y se analizarán los resultados promedios de éstas.



**Figura 2.40** Ensayo de densidad

Para realizar el ensayo de densidad utilizaremos la balanza electrónica METTLER TOLEDO con los respectivos accesorios, dicha balanza es proporcionada por el área de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú. (Ver figura 2.40 y 2.41)



**Figura 2.41** Muestra sumergida en ensayo de densidad

## CAPÍTULO III

### Resultados y análisis

A lo largo de este capítulo se muestran los distintos resultados de las diferentes etapas llevadas a cabo durante la experimentación. Siguiendo un orden lógico de eventos, inicialmente se presenta los resultados obtenidos de los ensayos de tiempo de curado de la resina poliéster variando el porcentaje de los distintos aditivos utilizados, en segundo lugar se muestran los resultados obtenidos en base a la primera experimentación para definir el rango de porcentajes de cuero y resina a utilizar. Seguidamente se analizarán los distintos procesos de fabricación llevados a cabo para elaborar las muestras y a su vez se analizarán los ensayos relacionados a la elección de temperatura de post-calentamiento para agilizar el curado.

Finalmente se analizarán los resultados obtenidos en base a los ensayos de las distintas probetas para los ensayos de tracción, absorción y densidad, donde únicamente existe la variable del tamaño de partícula.

#### 3.1 Tiempo de curado de resina poliéster

De manera que podamos definir cuál es el tiempo de curado más apto para llevar a cabo la mezcla entre la resina poliéster y el cuero, hemos de definir las distintas cantidades en porcentaje de los diferentes compuestos que pueden ser agregados a la resina para variar sus propiedades.

**a)** En primera instancia se realizó el ensayo únicamente con resina poliéster, peróxido de MEK y octoato de cobalto, dejando de lado la variación del monómero de estireno.

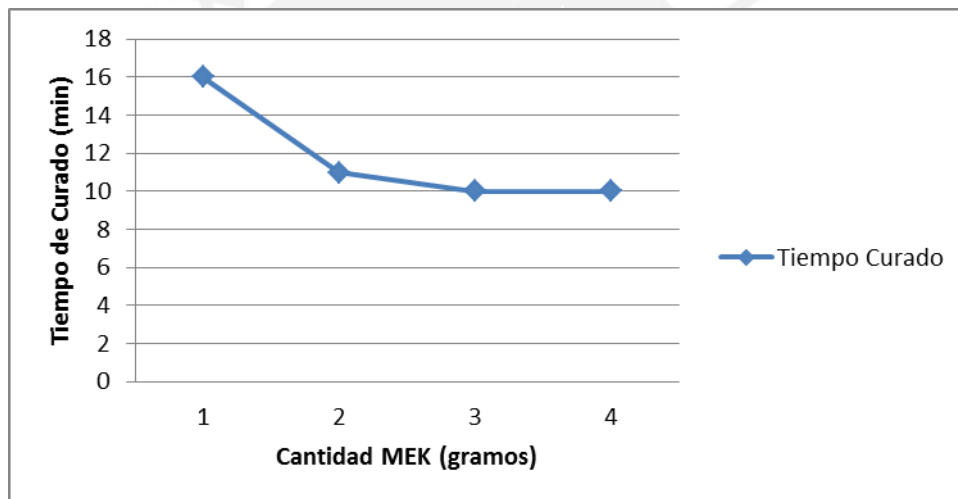
En este ensayo varió exclusivamente la cantidad de peróxido en la mezcla, de esta manera se puede conocer qué efecto tiene sobre el tiempo de curado. (Ver tabla 3.1 y figura 3.1)

Se decide iniciar con valores bajos de aditivos por recomendaciones estándar.

**Tabla 3.1** Ensayo de tiempo de curado variando MEK

Ensayo	W resina (g)	W Peróxido de MEK (g)	W Octoato de Cobalto (g)	Tiempo Curado (min)
1	50	1	1	16
2	50	2	1	11
3	50	3	1	10
4	50	4	1	10

Los resultados se pueden apreciar en el siguiente gráfico


**Figura 3.1** Resultados tiempo de curado variando MEK

El aumento significativo de peróxido de MEK no es una variable de consideración para el tiempo de curado, es decir el tiempo que le toma a resina para poder polimerizar completamente no se ve afectado directamente con la cantidad de MEK en la mezcla.

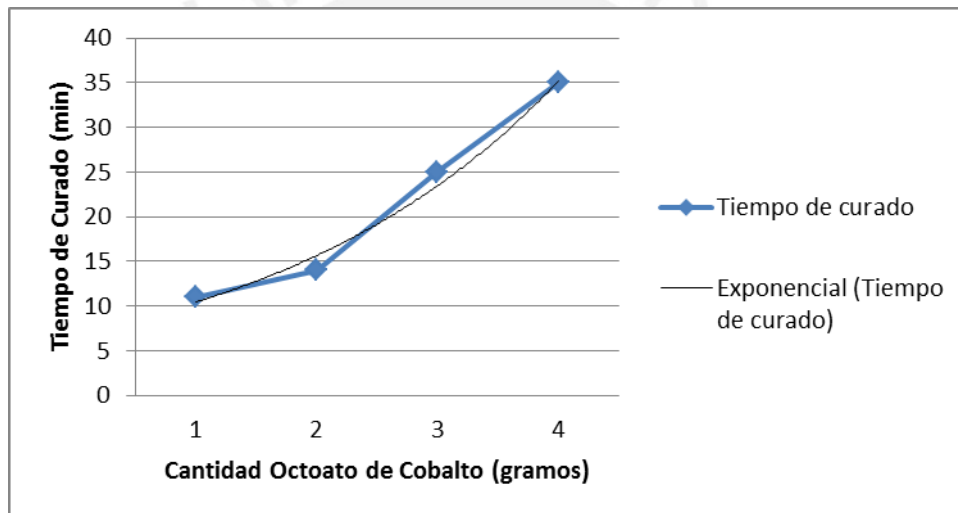
Al tener como resultado tiempos muy parecidos para las combinaciones mostradas, se optó por utilizar MEK en cantidad de 4% (2 gramos de MEK por cada 50 gramos de resina) de concentración en relación a la resina poliéster.

**b)** La influencia del MEK se puede apreciar claramente en la figura 3.1, sin embargo no siendo el peróxido el único elemento capaz de afectar el tiempo de curado de la resina poliéster, se repite la experimentación ahora cambiando de variable. (Ver tabla 3.2 y figura 3.2)

**Tabla 3.2** Ensayo de tiempo de curado variando Octoato de cobalto

Ensayo	W Resina (g)	W Peróxido de MEK (g)	W Octoato de Cobalto (g)	Tiempo de curado (min)
1	50	2	1	11
2	50	2	2	14
3	50	2	3	25
4	50	2	4	35

Los resultados se pueden apreciar en el siguiente gráfico

**Figura 3.2** Resultados tiempo de curado variando octoato de cobalto

A diferencia de la influencia del peróxido de MEK en la resina poliéster, podemos apreciar una tendencia bastante significativa para el aumento en peso de octoato de cobalto en la mezcla de la resina poliéster.

El octoato de cobalto tiene una reacción directa con el tiempo de curado en cuanto a la cantidad empleada en la mezcla, a mayor cantidad se prolonga el tiempo de curado.

De los datos recogidos de la experimentación se define el uso de octoato de cobalto a no más de un 2% del contenido de resina poliéster para las mezclas del material compuesto.

Es un hecho que la fabricación de la resina poliéster ha de llevar los dos compuestos es por eso que se opta por tomar la combinación que arroja los mejores tiempos de curado.

De tal manera el procedimiento a llevar a cabo para la fabricación de una matriz de resina poliéster mantiene los siguientes parámetros:

Porcentaje de Peróxido de MEK en relación a la resina = 4% (2g por 50g de resina)

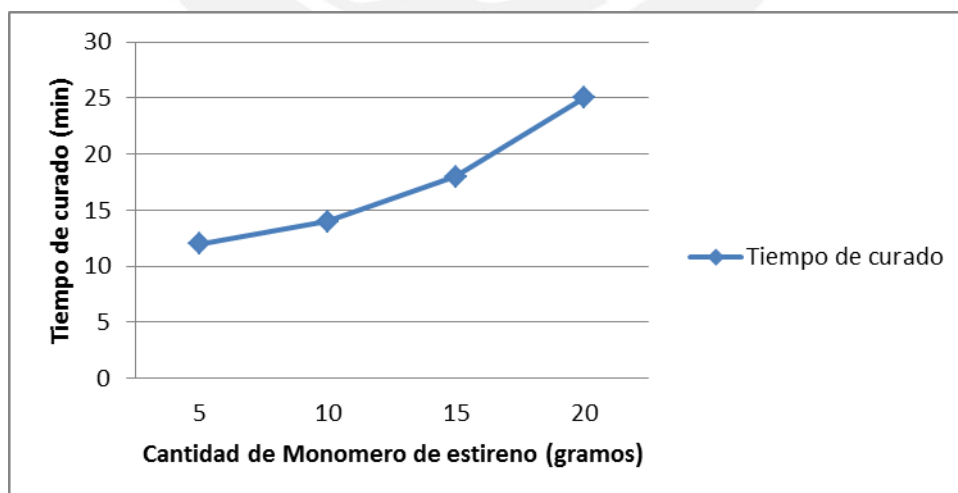
Porcentaje de Octoato de Cobalto en relación a la resina = 2% (1g por 50g de resina)

- c) El tercer punto a tomar en cuenta es la cantidad de monómero de estireno a utilizar. Dado que el tiempo de curado se va ver afectado por la cantidad de monómero de estireno, es necesario llevar a cabo un ensayo donde se mantengan las nuevas variables obtenidas de los resultados previos. (Ver tabla 3.3 y figura 3.3)

**Tabla 3.3** Ensayo de velocidad de curado variando monómero de estireno

Ensayo	W Monómero de estireno (g)	W Resina (g)	W Peróxido de MEK (g)	W Octoato de Cobalto (g)	Tiempo de curado (min)
1	5	50	2	1	12
2	10	50	2	1	14
3	15	50	2	1	18
4	20	50	2	1	25

Plasmando los resultados en la gráfica



**Figura 3.3** Tiempo de curado variando Monómero de estireno

Siguiendo la tendencia del incremento del octoato de cobalto, el monómero de estireno presenta las mismas consecuencias al añadir mayor cantidad a la mezcla.

Sin embargo este compuesto es esencial e imprescindible para poder llevar a cabo la experimentación, parte de sus beneficios radican en la mejora de maniobrabilidad de la resina poliéster, ya que por sí sola es muy espesa y dificulta la labor, más aun cuando se trata de trabajar con partículas de cuero como refuerzo de material compuesto.

Principalmente es por este motivo que se opta por utilizar el monómero de estireno en una concentración de 20% (10 gramos por 50 gramos de resina), porcentaje que facilita el uso de la resina dándole la contextura necesaria para poder trabajar con el cuero.

Otro factor importante y que se analizó para la experimentación es el efecto del cuero con la mezcla, el modo como el cuero afecta también el tiempo de curado.

Este fue un solo ensayo utilizando los mismos porcentajes de resina y demás compuestos ya establecidos.

Para este ensayo se obtuvo un valor de tiempo de curado de 16 minutos, lo cual significa que el cuero afecta también con la velocidad de curado.

### **3.2 Rango de porcentajes de cuero y resina**

De manera que se pueda determinar en primera instancia el porcentaje de cuero y resina a utilizar se han de realizar distintos ensayos donde se variará la composición de ambos elementos, llegando así a un rango ideal tentativo donde pueda encontrarse la mezcla exacta para el tipo de utilidad que se necesita.

Para esta etapa se realiza una fabricación estándar donde se procede a prensar la mezcla con una presión de 5 toneladas por un tiempo de 30 minutos. Se escoge tal método debido a la facilidad y practicidad del mismo, no necesariamente siendo el mejor proceso de fabricación del material compuesto. (Ver tabla 3.4)

**Tabla 3.4** Diferentes composiciones de fabricación

Muestra	Composición	Resultado/Observaciones
1	25% Cuero 75% Resina	Material de fácil fabricación y rápido tiempo de curado (menor de 10 minutos), duro y frágil, mantiene todas las propiedades de la resina poliéster
2	50% Cuero 50% Resina	Material de fácil fabricación, duro y frágil, mínima propiedades adquiridas por parte del cuero, en su mayoría mantiene las propiedades de la resina poliéster
3	75% Cuero 25% Resina	Fabricación moderada, material compuesto maleable, buena adhesión de partículas y ductilidad
4	90% Cuero 10% Resina	Fabricación complicada, muy poca presencia de resina repercutiendo en la adhesión del material, no factible.

Los ejemplos de los tipos de composición se pueden observar en las siguientes figuras (3.4, 3.5, 3.6 y 3.7).



**Figura 3.4** Material compuesto 25% Cuero y 75% Resina poliéster



**Figura 3.5** Material compuesto 50% Cuero y 50% Resina poliéster



**Figura 3.6** Material compuesto 75% Cuero y 25% Resina poliéster



**Figura 3.7** Material compuesto 90% Cuero y 10% Resina poliéster

En consecuencia de los resultados obtenidos se define el rango de composiciones de cuero y resina poliéster a utilizar. Debido a que se solicita un material con buena maleabilidad y capaz de soportar cargas se descarta inmediatamente los extremos de composición, es decir se rechaza los compuestos de 25% cuero 75% resina y 90% cuero 10% resina, dejando así como opción la gama intermedia de composición.

Sin embargo tal como se puede apreciar en la figura 3.5 el material compuesto con composición 50%-50% presenta aún una alta dureza y fragilidad al ser capaz de romperse de la manera como se muestra en la figura.

Por lo tanto la elección cae dentro del rango del 75% de cuero y 25% de resina, donde se selecciona los valores inmediatos siguientes mayores y menores, se parte del material compuesto con composición del 70% cuero 30% resina incrementando en 5% la cantidad de cuero hasta llegar al 80% de cuero.

No se supone continuar incrementando la cantidad de cuero por lo dificultoso que resulta extraer las muestras y la falta de aglomeración y adhesión del material compuesto.

### 3.3 Discusión y análisis de resultados de ensayos de tracción

#### a) Ensayos de selección del proceso de fabricación

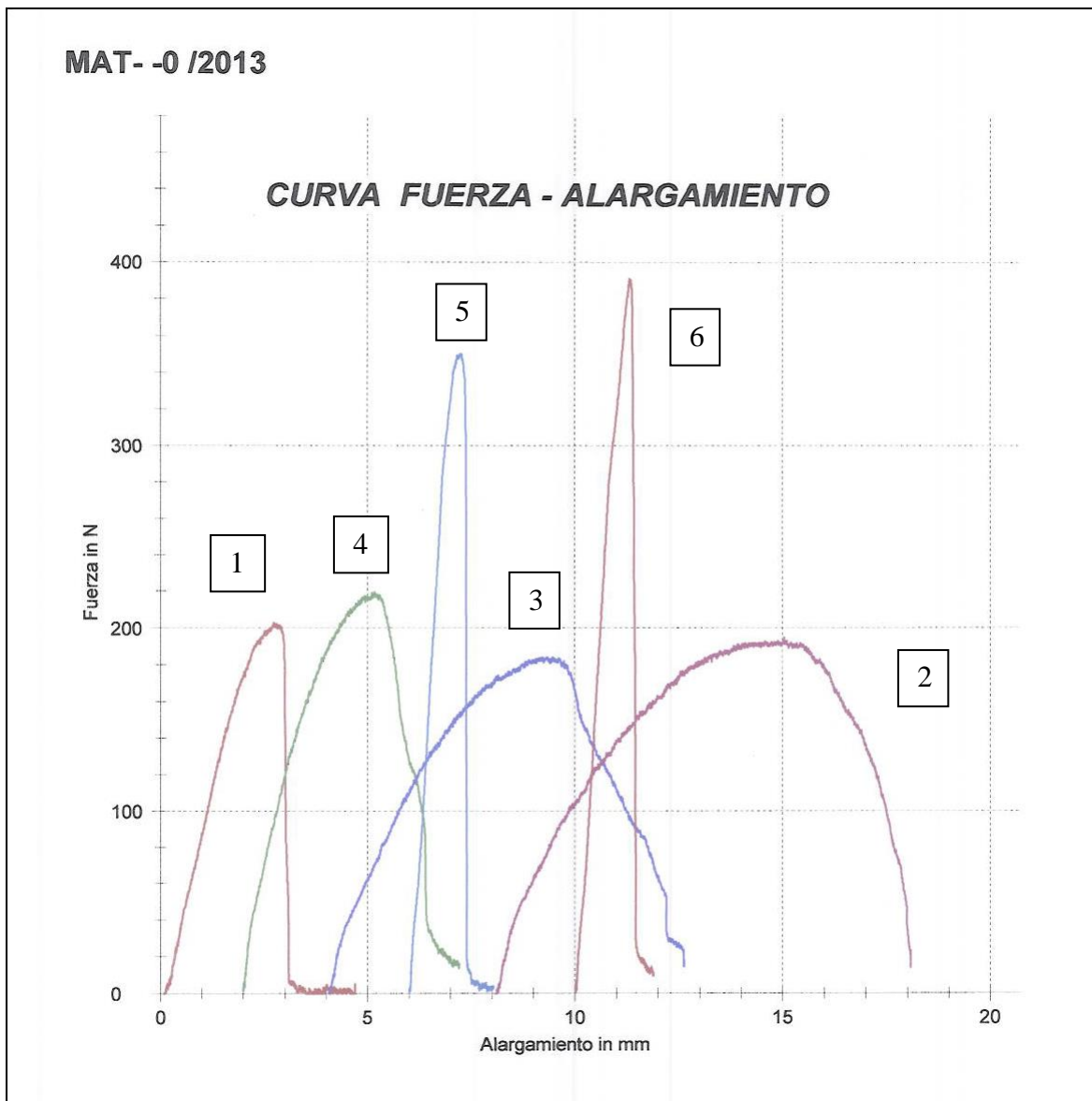
A partir de los ensayos de tracción obtenemos los siguientes resultados:

Ensayo de muestras (Ver tabla 3.5 y figura 3.8)

**Tabla 3.5** Ensayo para selección de proceso de fabricación

Muestra	Proceso	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área Transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima (N)	Esfuerzo $\sigma$ (kPa)
1	P1	3.4	38.11	129.574	203	1566.7
2	P2	2.57	40.21	103.3397	194	1877.3
3	P3	4.47	39.3	175.671	184	1047.4
4	P5	2.43	39.56	96.1308	220	2288.5
5	P1C	3.95	39.8	157.21	350	2226.3
6	P1C	3.95	40.3	159.185	391	2456.3

Cada muestra tiene una curva característica de Fuerza vs Alargamiento



**Figura 3.8** Gráfica de resultados determinación de proceso

A raíz de los resultados obtenidos podemos identificar qué tipo de propiedades adquiere el material compuesto según el tipo de proceso llevado a cabo.

La diferencias más marcada la podemos encontrar entre el material P1 y P1C, donde la única diferencia entre ambos es el post-calentado a 50°C durante 2 horas, este proceso hace que el material aumente su resistencia en un 72%, sin embargo sacrifica su ductilidad significativamente.

Entre los materiales que solo diferencian el proceso obtenemos resultados muy similares, entre los cuales destaca el material con un proceso mixto P5 (10 min 5 ton, 20 min 20 ton).

Este proceso hace que el material mantenga una muy buena ductilidad y logre aumentar su resistencia, haciéndolo más indicado para el tipo de trabajo y esfuerzos a los que estará sometido.

La diferencia entre los procesos se debe básicamente al tiempo inicial de 10 minutos a 5 toneladas, durante esta etapa es que el curado de la resina se lleva a cabo fundamentalmente y al tener un presión menor facilita a que el proceso se pueda realizar de manera uniforme sin provocar pérdidas de material ni resina (tal como se daba para otros casos). Esto va de la mano con los ensayos realizados anteriormente con la resina y los componentes agregados, donde podemos identificar específicamente el tiempo de curado para la combinación y aplicación seleccionada. (16 min)

Posterior a estos primeros diez minutos es que se eleva la presión una vez ya culminada la etapa más importante del curado. Es en este instante donde el material aun es propenso a cambiar sus propiedades gracias a la presión de compactación, donde podemos darle más densidad al material mientras este continua, en menor velocidad y cantidad, el proceso de curado.

Es por esta razón que el proceso a seleccionar será el P5, proceso mixto a diferentes presiones y tiempos.

Aun así se realizarán más pruebas con diferentes temperaturas de post-calentamiento para identificar una temperatura ideal donde el material pueda seguir aumentando sus propiedades sin sacrificar significativamente una de ellas.

#### **b) Ensayos de selección de temperatura post-calentamiento**

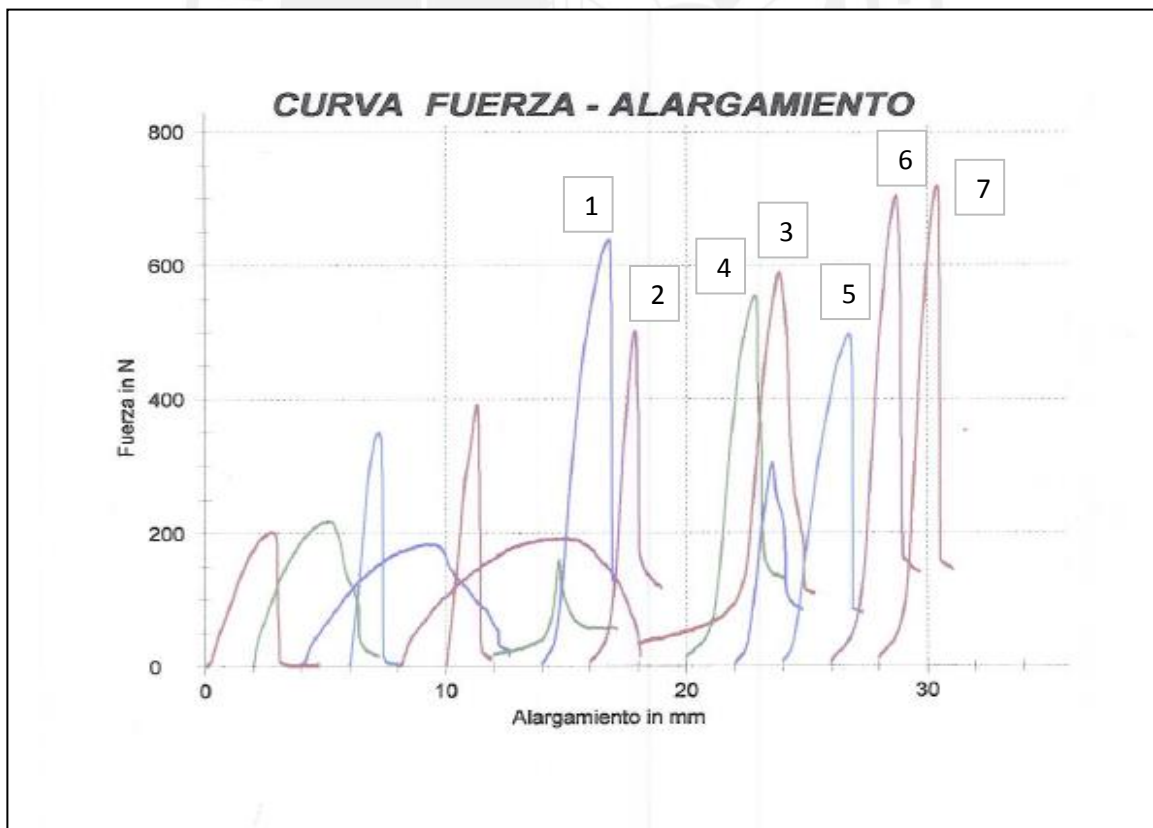
Posterior a los ensayos de tracción para la selección de la fabricación ideal del material compuesto, se realiza el ensayo para determinar la temperatura ideal para el post-calentamiento, con finalidad de concretar la etapa de curado del material compuesto.

Se trabajaron las temperaturas establecidas previamente de la siguiente manera (ver tabla 3.6 y figura 3.9):

**Tabla 3.6** Ensayo de temperatura de Post-Calentamiento

Muestra	Compuesto	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (N)	Esfuerzo (kPa)
1	MR5-75.25P5-75.2h	40	2.9	116	638	5500.0
2	MR5-75.25P5-50.1h	40	3	120	501	4175.0
3	MR5-75.25P5-75.2h	39.93	2.79	111.4047	589	5287.0
4	MR5-75.25P5-75.1h	40.62	2.58	104.7996	555	5295.8
5	MR5-75.25P5-50.2h	39.05	2.66	103.873	497	4784.7
6	MR5-75.25P5-100.1h	40.56	2.74	111.1344	706	6352.7
7	MR5-75.25P5-100.2h	39.51	2.7	106.677	720	6749.3

Los resultados del ensayo de tracción fueron los siguientes:



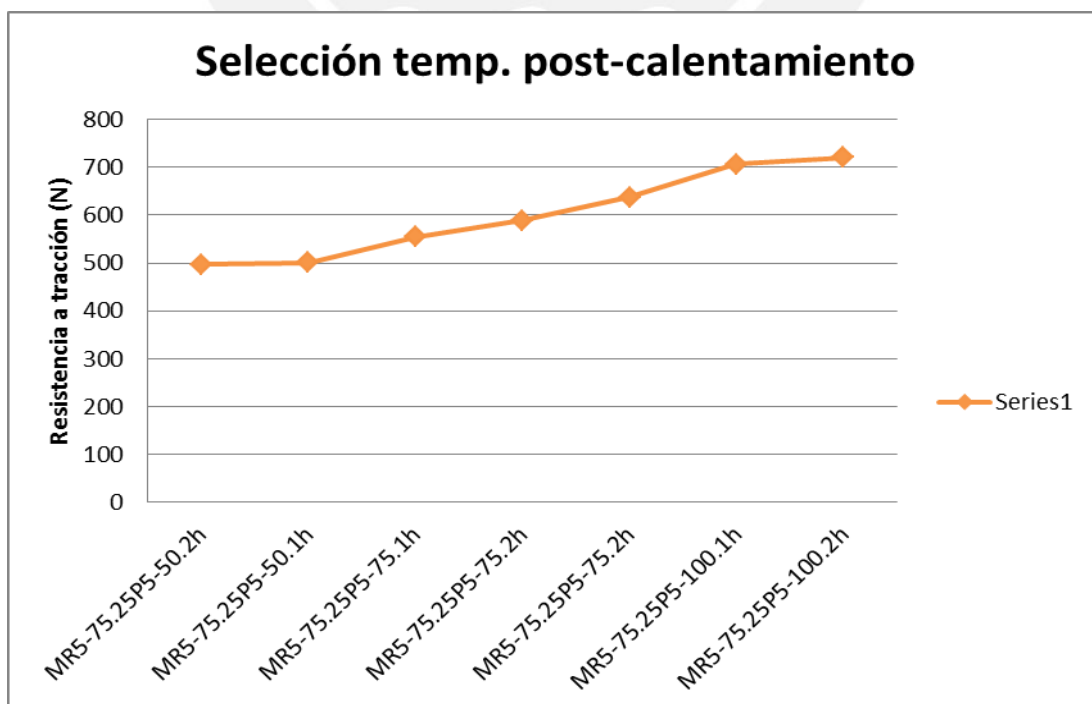
**Figura 3.9** Ensayo de tracción de probetas post-calentamiento

Se procesaron los resultados sobre la misma cuadrícula donde se realizaron los ensayos para la selección de proceso de fabricación con un propósito, marcar claramente la gran diferencia entre los procesos con curado utilizando el post-calentamiento y los que no lo utilizan.

Teniendo en cuenta que para este proceso de selección de proceso se eligió la mejor opción de fabricación tomada de los resultados del ensayo realizado en la parte **a)** los resultados fueron tal cual esperados.

El primer punto en comparación es el del aumento de resistencia adquirida por el material compuesto al ser sometido al post-calentamiento, podemos observar que para el mismo proceso de fabricación el esfuerzo de tracción aumento notoriamente, para P5 (ver figura 3.6) la resistencia fue de 220N y tuvo un esfuerzo de tracción de 2288.5kPa (ver tabla 3.5) y para el mismo proceso de fabricación P5 pero sometido a un proceso de post-calentamiento, la muestra que obtuvo los mejores valores de resistencia fue la número 7, con 720N y esfuerzo de tracción de 6749kPa, lo cual nos muestra un aumento del 227% en resistencia a la tracción y significando un aumento en el esfuerzo de 195%.

Ahora se debe definir dentro de los distintos procesos plasmados, cuál de ellos presenta las mejores condiciones y es el más adaptable para la fabricación de las muestras; analizando los resultados podemos observar una tendencia de aumento de resistencia al incrementar las temperaturas de curado (ver figura 3.11).



**Figura 3.10** Resultados ensayo de tracción para post-calentamiento

Dicho aumento de resistencia a la tracción es significativo para cada incremento de temperatura de curado, sin embargo la variable que no muestra un cambio significativo en su resistencia es la del tiempo. No existe una diferencia connotada para la duplicación del tiempo de curado de los materiales compuestos, es decir no muestran mayores beneficios al exponerse por mayor cantidad de tiempo al calor.

A raíz de los resultados se puede seleccionar la temperatura de post calentamiento que formará parte del proceso de fabricación, debido a que es necesario tener una buena resistencia y adhesión por parte de las partículas para poder llevar a cabo su función se selecciona el proceso de 100°C. En consecuencia se opta por utilizar esta temperatura de post-calentamiento por un lapso de 1 hora, al analizar que el tiempo expuesto no afecta significativamente los resultados.

### c) Ensayos de los materiales compuestos

Para poder determinar y seleccionar la composición del material compuesto ideal, es necesario analizar todas las posibilidades y elaborar gráficas de resultados de los procesos, preferiblemente repitiendo en su mayoría todos los ensayos hasta 3 veces como mínimo.

Teniendo en cuenta los resultados previos de proceso de fabricación y temperatura de post-calentamiento, se prepararon las siguientes probetas para llevar a cabo el ensayo de tracción que definirá el mejor material a utilizar. (Ver tabla 3.7)

**Tabla 3.7** Relación de probetas a ensayar MR1, MR2 y MR5

MR1

Cuenta	Muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
1	MR1-70/30P51001	37.30	3.04	113.4
2	MR1-70/30P51001	36.80	3.34	122.9
3	MR1-70/30P51001	35.83	3.30	118.2
4	MR1-75/25P51001	37.20	2.82	104.9
5	MR1-75/25P51001	34.49	2.64	91.1
6	MR1-75/25P51001	33.80	2.79	94.3
7	MR1-80/20P51001	36.33	2.41	87.6
8	MR1-80/20P51001	35.78	2.90	103.8

## MR2

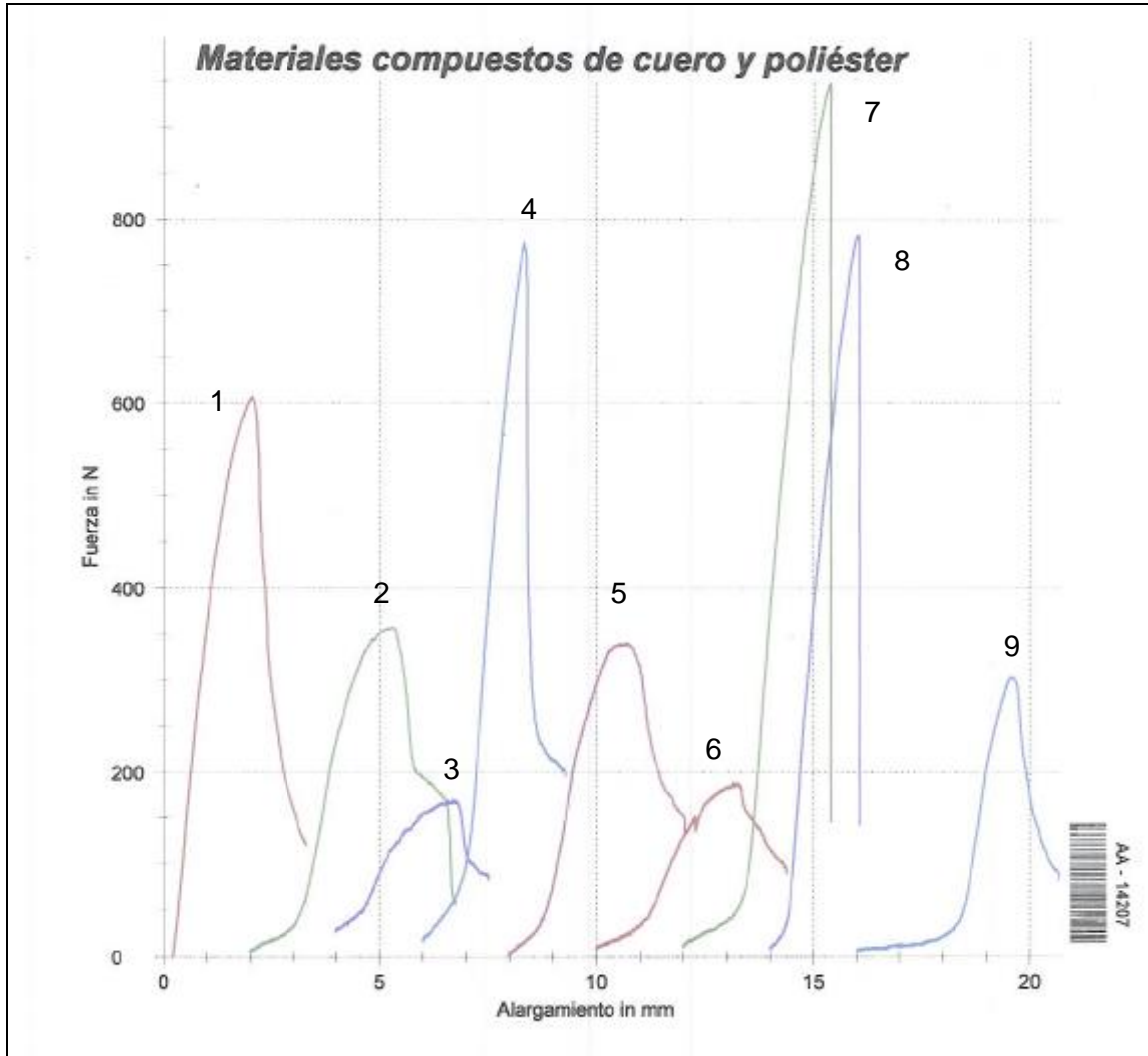
Cuenta	Muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
9	MR2-70/30P51001	36.98	2.94	108.7
10	MR2-70/30P51001	35.71	3.15	112.5
11	MR2-75/25P51001	37.17	2.80	104.1
12	MR2-75/25P51001	36.83	2.72	100.2
13	MR2-75/25P51001	35.72	2.71	96.8
14	MR2-80/20P51001	37.34	2.86	106.8
15	MR2-80/20P51001	35.78	2.85	102.0

## MR5

Cuenta	Muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
16	MR5-70/30P51001	37.17	2.63	97.8
17	MR5-70/30P51001	36.76	2.62	96.3
18	MR5-70/30P51001	34.35	2.73	93.8
19	MR5-75/25P51001	36.79	2.56	94.2
20	MR5-75/25P51001	37.54	2.75	103.2
21	MR5-75/25P51001	36.96	2.81	103.9
22	MR5-75/25P51001	35.83	2.68	96.0
23	MR5-75/25P51001	35.96	2.56	92.1
24	MR5-75/25P51001	36.91	2.62	96.7
25	MR5-80/20P51001	36.15	2.80	101.2
26	MR5-80/20P51001	36.59	2.65	97.0
27	MR5-80/20P51001	36.92	2.31	85.3
28	MR5-80/20P51001	36.57	2.85	104.2

En la siguiente figura 3.12 podemos observar el resultado y la influencia de los distintos tamaños de partícula en la capacidad de resistencia del material compuesto en cuestión,

de igual manera en la figura 3.12 es posible determinar una tendencia de disminución de resistencia a la tracción al incremento de porcentaje de cuero en la mezcla ensayada.



**Figura 3.11** Resultado de ensayos de tracción general

Los datos son plasmados en la siguiente tabla (ver tabla 3.8)

**Tabla 3.8** Resultados de ensayos de tracción general

Muestra	Compuesto	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (N)	Esfuerzo (kPa)
1	MR1-70/30P5100	37.3	3.04	113.39	608	5361.9
2	MR1-75/25P5100	34.49	2.64	91.05	358	3931.8
3	MR1-80/20P5100	35.78	2.9	103.76	170	1638.4
4	MR2-70/30P5100	36.98	2.94	108.72	775	7128.3
5	MR2-75/25P5100	37.17	2.8	104.08	340	3266.8
6	MR2-80/20P5100	37.34	2.86	106.79	189	1769.8
7	MR5-70/30P5100	37.17	2.63	97.76	948	9697.5
8	MR5-75/25P5100	36.79	2.56	94.18	784	8324.3
9	MR5-80/20P5100	36.92	2.31	85.29	303	3552.8

En la gráfica se puede apreciar cómo va aumentando la resistencia a la tracción de las probetas ensayadas a medida que se utiliza una fibra de menor tamaño como refuerzo, distinguiendo significativamente la resistencia a la tracción por parte de las probetas con mayor cantidad de resina en su composición.

Claramente existe una diferencia entre los distintos tipos de compuestos con tamaño de partícula MR1, 2 y 5, por lo tanto no es descabellado optar de inmediato por el material compuesto con MR5 como el mejor tamaño de partícula para la selección de la materia prima para el proceso de fabricación.

Por el otro lado puede observarse una similitud entre los resultados obtenidos para los ensayos de MR5 con compuesto de 70% / 30% y 75% / 25%, dejando así aún la duda de la selección de la mejor composición del material, teniendo entonces que tomar en cuenta los resultados de los siguientes ensayos planteados en la investigación.

Asimismo de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción se pueden obtener valores de esfuerzo a la tracción y módulo elástico, acotando dos puntos en la curva de resistencia de las probetas (ver tabla 3.9 y figura 3.13, 3.14) y desarrollando las siguientes fórmulas.

**Tabla 3.9** Tabla de resultados ensayo tracción MR2

Serie	Probeta	Muestra	% madera	b (mm)	d (mm)	L (mm)	F <sub>máx</sub> (N)
1	1	MR2-70/30P5100	70	36.98	2.94	50	775
2	2		70	35.71	3.15	50	810
3	1	MR2-75/25P5100	75	37.17	2.8	50	340
4	2		75	36.83	2.72	50	265
5	3		75	35.72	2.71	50	318
6	1	MR2-80/20P5100	80	37.34	2.86	50	189
7	2		80	35.78	2.85	50	134

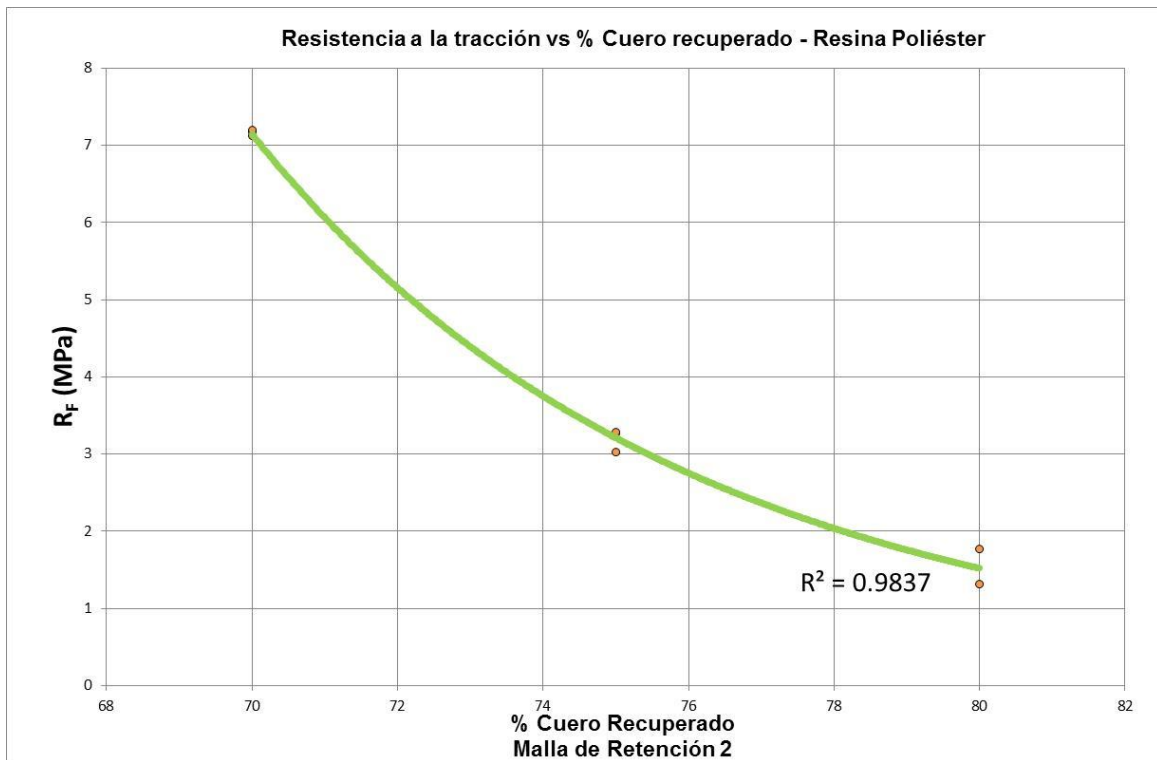
Serie	Probeta	Muestra	F1 (N)	y1 (mm)	F2 (N)	y2 (mm)	ΔF (N)	Δy (mm)
1	1	MR2-70/30P5100	232.37	1.286	555.06	1.809	322.68	0.523
2	2		226.76	1.509	598.77	2.086	372.01	0.577
3	1	MR2-75/25P5100	120.49	1.174	246.41	1.700	125.92	0.526
4	2		93.39	1.388	184.22	1.780	90.83	0.392
5	3		102.04	0.902	223.49	1.373	121.45	0.471
6	1	MR2-80/20P5100	64.86	1.419	141.93	2.165	77.07	0.746
7	2		48.00	1.236	112.00	2.019	64.00	0.783

Serie	Probeta	Muestra	R <sub>T</sub> (Mpa)	R <sub>T prom</sub> (Mpa)	E (Mpa)	E <sub>prom</sub> (Mpa)
1	1	MR2-70/30P5100	7.13	7.16	283.75	285.17
2	2		7.20		286.58	
3	1	MR2-75/25P5100	3.27	3.07	115.00	121.28
4	2		2.65		115.65	
5	3		3.29		133.18	
6	1	MR2-80/20P5100	1.77	1.54	48.37	44.23
7	2		1.31		40.08	

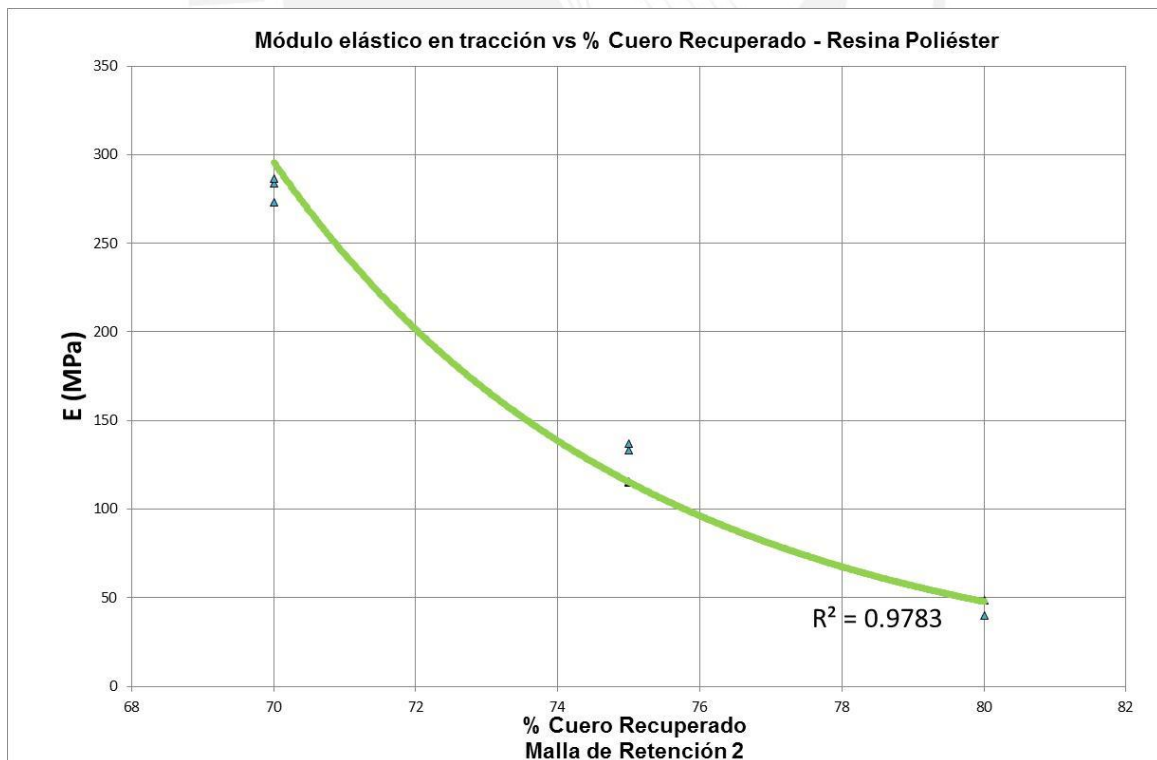
$$R_T \text{ (MPa)} = F_{\text{máx}} / \text{Área}$$

$$E \text{ (MPa)} = (\text{Longitud} / \text{Área}) \times (\Delta F / \Delta y)$$

A partir de estos datos se pueden plasmar los resultados en gráficas representando los puntos máximos para cada propiedad mecánica del material compuesto.



**Figura 3.12** Diagrama de esfuerzo de resistencia a la tracción para el material compuesto con tamaño de partícula MR2



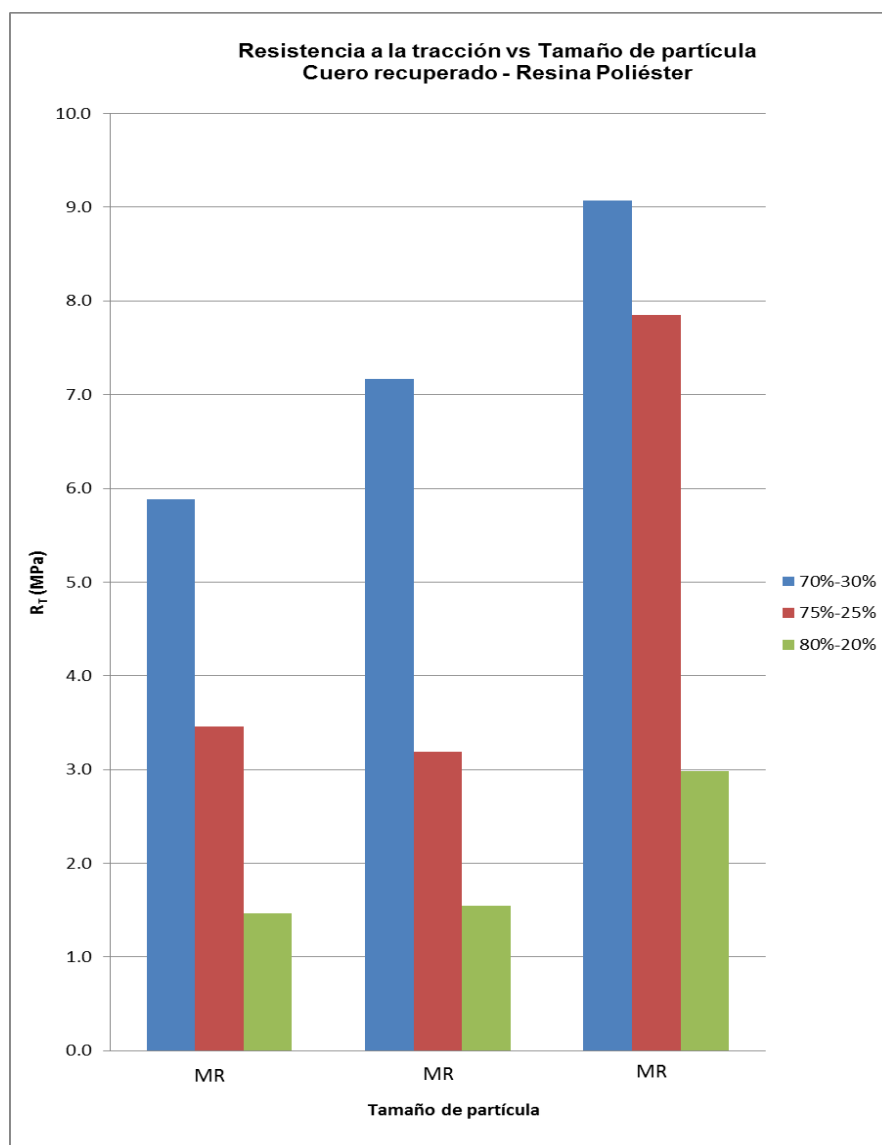
**Figura 3.13** Diagrama de módulo elástico de material compuesto con tamaño de partícula MR2

Se puede observar una clara tendencia de ambas gráficas, sustentando lo expresado previamente. A medida que aumenta el porcentaje de cuero en la mezcla, disminuye la capacidad de resistir la tracción y su capacidad de cambiar de longitud al estar sometido a la acción de tracción.

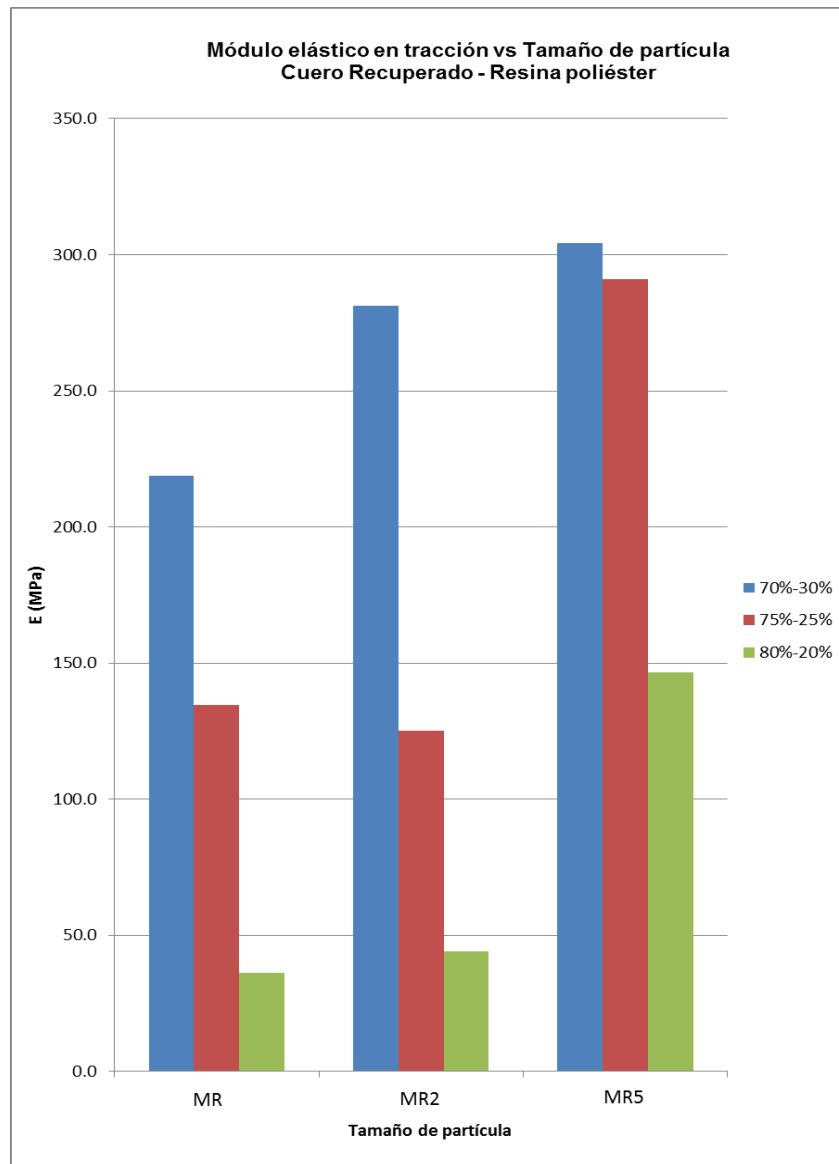
Tal resultado se puede apreciar de igual manera por el término de correlación  $r^2$ .

En general podemos tomar los resultados de todos los ensayos llevados a cabo y tomar los promedios de los esfuerzos de tracción y módulo elástico.

Esta información se presenta en al siguiente figura. (Ver figura 3.15)



**Figura 3.14** Promedio de esfuerzos a la tracción para el material compuesto



**Figura 3.15** Promedio de módulo elástico para el material compuesto

Tal como se había previsto anteriormente, la decisión final del material a escoger radica entre el compuesto con tamaño de partícula MR5 y composición entre 70% y 75% de cuero. Se ha de definir en base a los resultados de los ensayos sucesivos.

### 3.4 Discusión y análisis de resultados de ensayo de absorción

La absorción de agua del material es un tema muy importante y entra a tallar en la selección del material compuesto ideal, esto se debe al uso que ha de tener el mismo.

Dentro de las propiedades que debe tener el material compuesto a fabricar, una de las más importantes es la no absorción de agua, es decir debe tener la propiedad de no absorber agua al estar en contacto con ella.

El problema radica en la humedad que se genera en las suelas de los zapatos. Siendo los pies una fuente de emisión de calor y humedad, el calzado debe tener la característica de permitir escapar esta humedad y calor de tal manera que los posibles hongos y bacterias no encuentren un lugar acogedor para crecer, en ese sentido la suela falsa a confeccionarse del material compuesto fabricado deberá contar con una buena no absorción de agua.

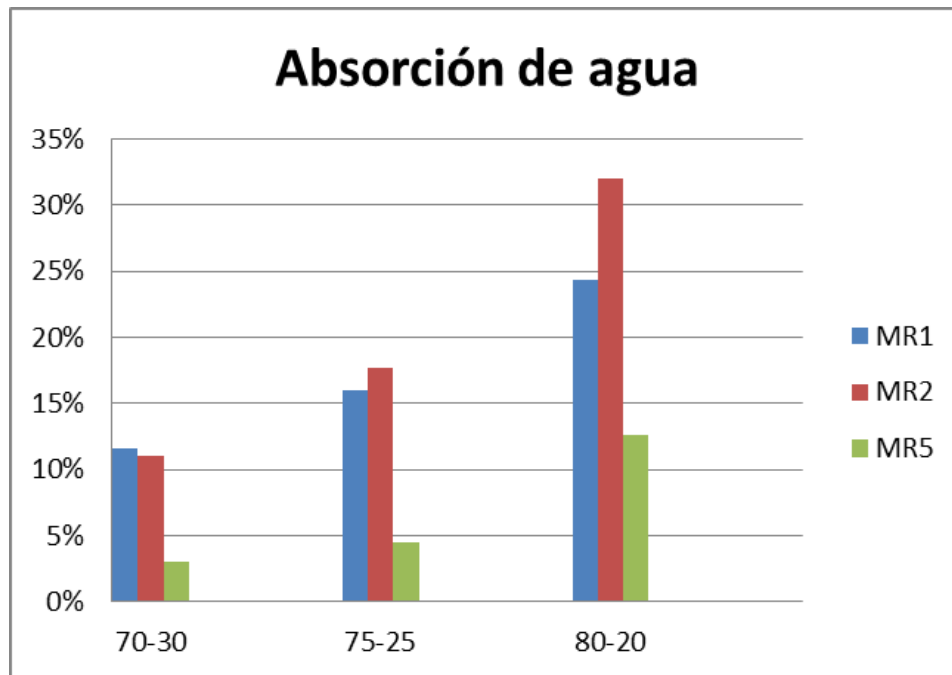
La siguiente tabla muestra los resultados desde la temperatura ambiente de absorción de agua para el material compuesto con tamaño de partícula de cuero MR5 proceso P5 y post-calentamiento de 100°C por 1 hora. (Ver tabla 3.10 y figura 3.17)

**Tabla 3.10** Ensayo de absorción MR5

MR5	Muestra	Peso Seco	Peso Mojado	Absorción	Absorción Prom
70/30	1	5.469	5.6323	3%	3%
	2	6.6411	6.6972	1%	
	3	6.0815	6.3903	5%	
75/25	1	5.5688	5.844	5%	4%
	2	4.5136	4.7078	4%	
	3	3.9058	4.0675	4%	
80/20	1	3.5036	3.855	10%	13%
	2	2.6694	2.9709	11%	
	3	3.7145	4.3327	17%	

De la tabla podemos apreciar significativamente el incremento de capacidad de absorción de material a medida que aumenta la cantidad de cuero en las muestras. Es decir mientras más cantidad de resina tenga como aglomerante, es más complicado para el agua ingresar y ser absorbido por el material compuesto, teniendo el cuero por sí solo una absorción de agua por encima del 60%, estos resultados son bastante favorables para el desarrollo del material compuesto.

En la siguiente gráfica se puede apreciar la absorción de agua promedio de los distintos compuestos con tamaño de partícula MR1, MR2 y MR5



**Figura 3.16** Ensayo de absorción de agua

El ensayo de absorción de agua muestra resultados bastante denotados, en todos los casos muestra una tendencia positiva en cuanto a absorción de agua por parte de los materiales a medida que va aumentando la cantidad de partículas de cuero, corroborando lo presentado previamente.

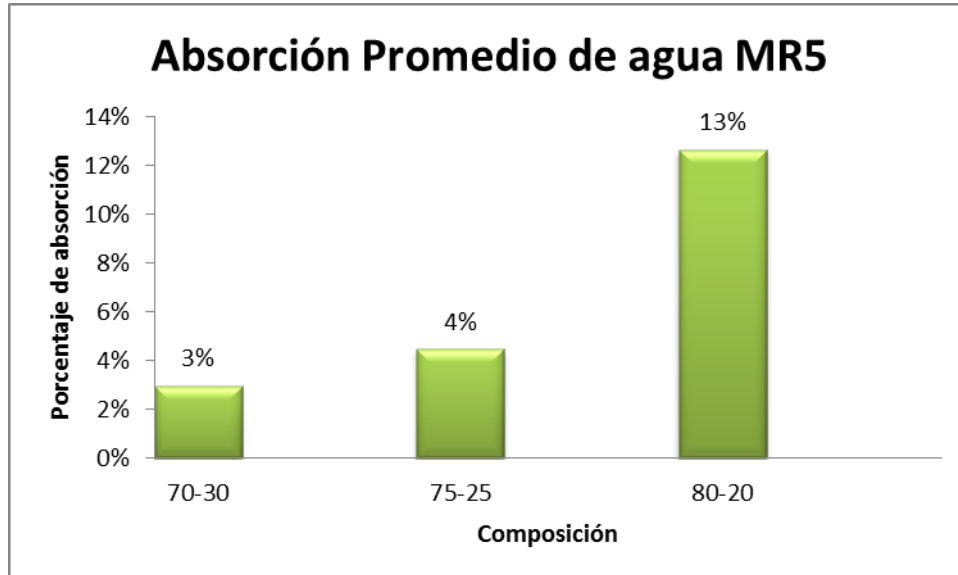
En cuanto al tamaño de partícula, se puede apreciar claramente una diferencia entre los tamaños MR1 y MR2 contra el tamaño MR5, esto a su vez se debe a la compactación obtenida al tener diferente tamaño de partícula. Cuando el material compuesto es sometido a presión durante el proceso de curado, el refuerzo de fibra se compacta al máximo abarcando la mayor cantidad de espacio mezclándose con el aglomerante en la mezcla y producto de ello contamos con un material con mejor resistencia a la absorción de agua, tal como lo es el material compuesto fabricado en base a cuero de MR5.

Se pueden apreciar la misma tendencia en los resultados realizados a tres muestras de cada composición ratificando la capacidad del material.

En cuanto al tamaño de partícula MR1 y MR2, éstos muestran resultados variados indicando así que a ese tamaño de partícula entre 5.15mm y 3.33mm (MESH-4 y MESH6) no existe una tendencia tan definida en cuanto a la capacidad de impedir la absorción de agua por parte del material.

Estos resultados soportan la idea principal de tomar el material compuesto fabricado en base al tamaño de partícula MR5 como principal contendiente para la elaboración del

material, y en especial enfocándose en los procesos de composición 75.25 y 70.30. (Ver figura 3.18)



**Figura 3.17** Absorción promedio de agua para material compuesto con tamaño de partícula MR5

Realizando un análisis más detallado y haciendo un enfoque únicamente en el material compuesto con tamaño de partícula en cuestión, se puede apreciar la ligera diferencia que existe en la absorción de agua. Al haber realizado ensayos a distintas probetas provenientes de distintas muestras, realizadas en distintos días, podemos llegar a la conclusión que prácticamente tienen las mismas propiedades de absorción de agua los materiales compuestos de cuero y resina con composición de 70% cuero 30% resina y 75% cuero 25% resina.

### 3.5 Discusión y análisis de ensayo de densidad

El ensayo de densidad se realiza con la finalidad de obtener valores que nos puedan indicar la repercusión de los distintos procesos y composiciones del material compuesto. Se analizaron las muestras según la norma ASTM D1037, se realizaron tres pruebas por cada uno de los compuestos, entregando los siguientes resultados plasmados en la tabla. Se considera el proceso P5 y post-calentamiento de 100°C por 1 hora.

**Tabla 3.11** Tabla de resultado de densidades MR1

MR1	Muestra	Peso Seco	Peso Sumergido	Densidad	Densidad Prom
70/30	1	3.9682	0.4627	1132.0	1139.9
	2	1.2358	0.1632	1152.2	
	3	1.7865	0.2134	1135.7	
75/25	1	1.0995	0.0764	1074.7	1101.5
	2	1.1928	0.1237	1115.7	
	3	1.9791	0.2029	1114.2	
80/20	1	0.846	0.0346	1042.6	1083.3
	2	1.4815	0.1589	1120.1	
	3	1.3259	0.1063	1087.2	

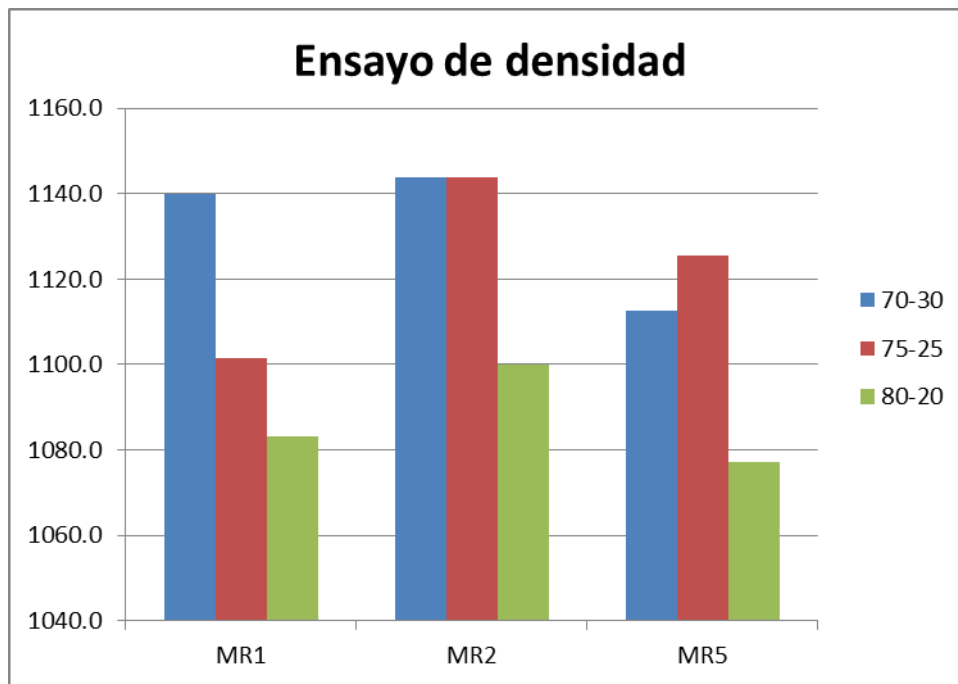
**Tabla 3.12** Tabla de resultado de densidades MR2

MR2	Muestra	Peso Seco	Peso Sumergido	Densidad	Densidad Prom
70/30	1	3.33	0.4819	1169.2	1143.9
	2	2.7706	0.2948	1119.1	
	3	2.4546	0.308	1143.5	
75/25	1	1.6212	0.1781	1123.4	1143.7
	2	1.1996	0.1657	1160.3	
	3	1.4263	0.1834	1147.6	
80/20	1	1.6479	0.1476	1098.4	1100.1
	2	1.4591	0.1138	1084.6	
	3	1.663	0.1745	1117.2	

**Tabla 3.13** Tabla de resultado de densidades MR5

MR5	Muestra	Peso Seco	Peso Sumergido	Densidad	Densidad Prom
70/30	1	2.3573	0.2333	1109.8	1112.6
	2	1.962	0.1922	1108.6	
	3	2.7751	0.2961	1119.4	
75/25	1	0.9619	0.1172	1138.7	1125.5
	2	1.458	0.1603	1123.5	
	3	1.6365	0.1677	1114.2	
80/20	1	1.3724	0.0781	1060.3	1077.1
	2	0.9322	0.0801	1094.0	
	3	0.987	0.0705	1076.9	

Los resultados se pueden presentar en la siguiente figura (ver figura 3.19)



**Figura 3.18** Resultados de ensayo de densidad promedio

De este último ensayo se puede observar una relación notoria en cuanto al tamaño de partícula y la densidad del material compuesto, ambos están ligados proporcionalmente, a medida que aumentamos el tamaño de partícula, la densidad del material aumenta. Esto se debe más que todo a la facilidad que tiene la resina de acaparar el espacio libre entre las partículas al momento de la fabricación del material compuesto, siendo las partículas de mayor tamaño las que dejan más espacios libres es ahí donde se ve afectada la densidad del compuesto.

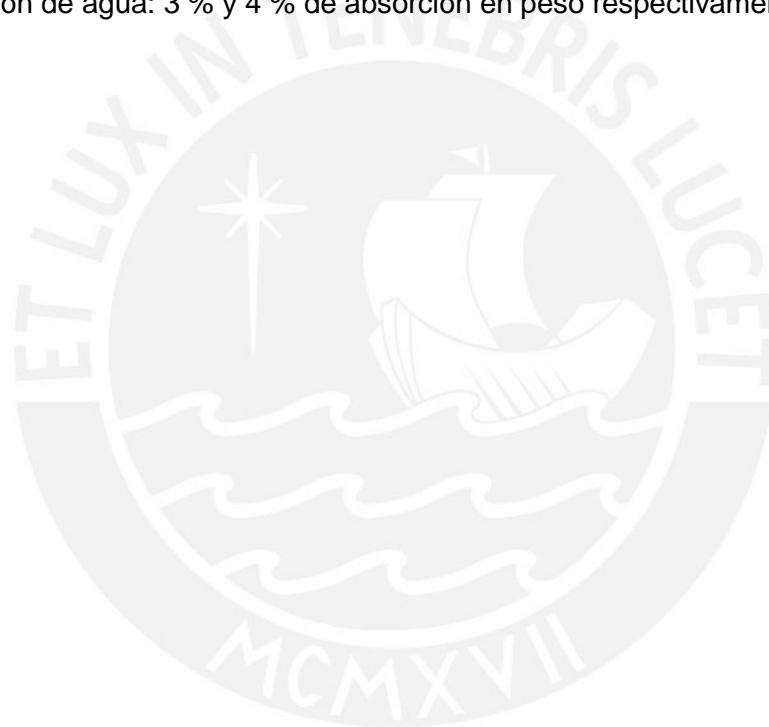
Dada la utilidad que ha de tener el material compuesto, es necesario que como una suela falsa no tenga mucho peso, de manera que no sea un lastre para la persona que utilice el calzado, sin embargo el material debe tener la compactación necesaria para no deformarse ni sufrir cambios irreparables al entrar en contacto agua, humedad o algún otro tipo de ambiente agreste que pueda afectar su forma o uso.

Es por esto que queda como solución tentativa el material compuesto en fabricado utilizando tamaño de partícula MR5 y porcentaje de composición 75% cuero y 25% resina.

## CONCLUSIONES

1. Se ha determinado un proceso de fabricación para la obtención de materiales compuestos de cuero recuperado aglomerados con resina poliéster; identificando las variables involucradas en las etapas de este proceso: Preparación del cuero y la resina, mezcla de los constituyentes, curado y prensado a temperatura ambiente y curado en horno. Asimismo, se determinaron las propiedades mecánicas de los materiales compuestos resultantes y además la densidad y absorción de agua de los mismos.
2. El tiempo de curado a temperatura ambiente fue establecido en 16 min, para una composición de 2% de iniciador (peróxido de metil etil cetona) y 4% de catalizador (octoato de cobalto) y 20 % de estireno de en la mezcla; en tanto que mayores cantidades de iniciador no disminuyen el tiempo de curado y contrariamente mayores cantidades de catalizador prolongan el tiempo de curado.
3. El proceso de curado en el horno (post calentamiento) se realiza con mayor rapidez, a medida que se incrementan tanto el tiempo de curado en el horno como la temperatura del horno. Sin embargo ambos parámetros llegan a un nivel donde se estabiliza la velocidad del proceso de curado (100°C y 1 h), lo cual se verifica al observar que no varían las propiedades mecánicas del material compuesto por encima de éstos valores.
4. Las propiedades mecánicas de material compuesto: resistencia a la tracción y módulo elástico, aumentan con la disminución del tamaño de partículas de cuero. Para un tamaño de partícula menor a 0.48 mm (MR5) el material compuesto tiene en promedio una resistencia a la tracción de 6.64 MPa siendo mucho mayor a 3.07 MPa correspondiente a las partículas de 5.15 mm (MR1). La misma tendencia de aumento de propiedades mecánicas pueden destacarse a medida que se disminuye el porcentaje de cuero en el material compuesto.
5. A medida que el material contiene mayor contenido de cuero y mayor tamaño de partículas, éste es propenso a absorber mayor cantidad de agua; debido principalmente a la elevada capacidad de absorber agua que tiene el cuero, la que se incrementa con el tamaño de partículas.

6. La densidad del material compuesto disminuye al incrementar la cantidad de cuero en la mezcla, esto se debe a la menor densidad que tiene el cuero en comparación con la resina,  $0.29 \text{ g/cm}^3$  y  $1.0716 \text{ g/cm}^3$  respectivamente.
7. Finalmente, se seleccionan las composiciones de tamaño de partícula menor a  $0.48 \text{ mm}$ , con composiciones de 70/30 y 75/25, siguiendo el mismo proceso de prensado y calentamiento (MR5-70/30P51001 y MR5-75/25P51001), ambas de resultados similares, que destacan por sus mejores propiedades mecánicas:  $9.08 \text{ MPa}$  y  $7.85 \text{ MPa}$  de resistencia a la tracción y  $304.34 \text{ MPa}$  y  $291.16 \text{ MPa}$  de módulo elástico para las composiciones 70/30 y 75/25 respectivamente, así como su menor capacidad de absorción de agua:  $3 \%$  y  $4 \%$  de absorción en peso respectivamente.



## RECOMENDACIONES

Al realizar esta tesis de investigación, han quedado varias dudas que deberían ser tomadas en cuenta para futuras investigaciones.

Las recomendaciones son las siguientes:

Se debe considerar utilizar otro tipo de resina para la aglomeración del cuero recuperado. La resina poliéster es muy buena por su maniobrabilidad y facilidad de uso, sin embargo el proceso de curado es algo inexacto y existen muchos vacíos de información al respecto. Otro punto a tomar en cuenta es la implementación de normas ASTM para desarrollar ensayos en base a resina poliméricas aglomeradas con fibras y/o partículas, desarrollar una metodología que abarque todas las distintas pruebas que puedan realizarse a éste tipo de compuesto.

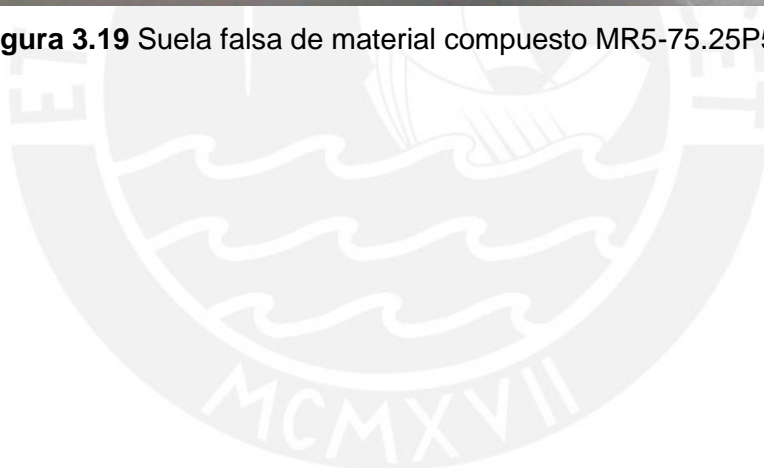
El ensayo mecánico de tracción arrojó varios valores dispersos para el mismo tipo de composición, se llevaron a cabo hasta el doble de pruebas para un tipo de composición esperando encontrar una tendencia y demarcar las propiedades del material, sin embargo el resultado fue contraproducente.

De llevarse a cabo el proceso en escala de producción, se debe considerar la utilización de otros tipos de moldes, ya sean directamente para la forma de plantilla (Ver figura 3.20) o planchas rectangulares de donde se puedan recortar los tamaños de suela falsa necesaria.

Con la fabricación del material compuesto de menor tamaño de partícula, con una mezcla de 75% cuero y 25% resina, siguiendo un proceso de prensado de dos etapas y un calentamiento en horno de 100°C por una hora (MR5-75/25P51001) el usuario estaría abaratando sus costos y utilizando aún más los residuos de cuero, siendo esto una doble ganancia para ellos. Esta composición mantiene las propiedades mecánicas ideales para llevar a cabo, en caso sea su propósito, la tarea de suela falsa, y no representa ninguna amenaza contra la salud ni confort del usuario.



**Figura 3.19** Suela falsa de material compuesto MR5-75.25P51001



## BIBLIOGRAFÍA

- [**Schenider 2012**] Schneider, H. F. (2012). Aglomerado de Virutas de cuero. La Plata, Argentina: 7mo Congreso de Medio Ambiente.
- [**Barretto 2010**] Barretto, P. (2010). Patente nº PCT/CA2010/000084. California, Estados Unidos.
- [**Larguía 2010**] Larguía, S. (2010). ANDAR EN CUEROS, Cuero Reciclado. Revista Hospitalidad y Negocios.
- [**Kamath 2004**] Kamath, M.G (2004), Sunplace Hydroentanglement, Estados Unidos
- [**Graham 2010**] Graham, Christopher (2010), Formation of leather sheet using hydroentanglement, Estados Unidos
- [**Palonam 2008**] Palonam Industries (2008), Patente EP1763602A1, Estados Unidos
- [**Bevan 2010**] Bevan, Graham (2010), Patente EP1616039A2, Estados Unidos
- [**Sabater 1998**] Sabater Lillio, (1998). Categorización de residuos de cuero y adhesivos para calzado, Universitat Politecnica de Valencia, España
- [**Rostro 2011**] Rostro, Ernesto (2011), Ensayo de tensión, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, México
- [**Billemeier 2004**] Billemeier, Fred (2004), Ciencia de los polímeros, Editorial Reverté, España
- [**Suárez 2010**] Suárez Bermejo, J.C. (2010), Leyes cohesivas en uniones adhesivas, España
- [**Acosta 2010**] Acosta Sullcahuamán, Julio (2010), Ingeniería de Materiales 2 – Polímeros y compuestos, Editorial PUCP, Lima, Perú
- [**Camilla 2010**] Camilla Pérez, Daniel 2010, Tipos de resinas y sus aplicaciones, México

**[Quevedo 2006]** Quevedo, Sandra (2006). Desarrollo de metodología para la fabricación de injertos compuestos de polvo de hueso y biopolímero, Universidad de los Andes, Bogotá.

**[Witnauer 1960]** Witnauer, Lee (1960), Preliminary studies of the dynamic mechanical properties of leather, Eastern Regional Research Laboratory Philadelphia 18, Pennsylvania

