



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA  
DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*) PARA SU  
APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO**

**Marleny Elizabeth Blanco González**

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales  
e Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, marzo de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA  
DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl*) PARA SU  
APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARLENY ELIZABETH BLANCO GONZÁLEZ**

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES  
E ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, MARZO DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) PARA SU APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 21 de noviembre de 2012.



**Marleny Elizabeth Blanco González**







Guatemala, 06 de septiembre de 2013

Ingeniero  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación titulado "FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl*) PARA SU APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO", de la estudiante de Ingeniería Química Marleny Elizabeth Blanco González quien se identifica con el carné número 2005-16281.

Sin otro particular nos suscribimos de usted.

Atentamente,

Ing. Geo. Mario José Mérida Méndez  
Coordinador

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-  
Sección Química Industrial CII/USAC  
Asesor



Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII  
Asesora





Guatemala, 23 de enero de 2014  
Ref. EIQ.TG-IF.004.2014

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 068-2012 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Marleny Elizabeth Blanco González**  
Identificada con número de carné: 2005-16281

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

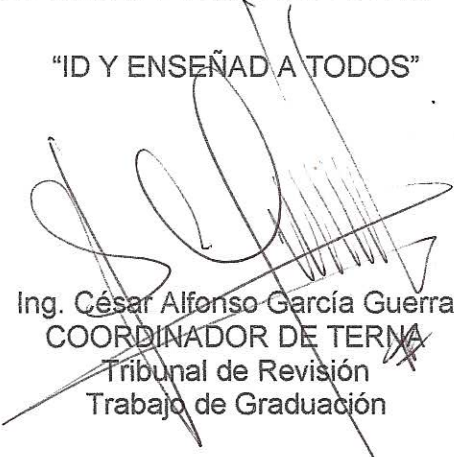
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl*) PARA SU APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. César Alfonso García Guerra  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo







Ref.EIQ.TG.034.2014

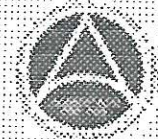
El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MARLENY ELIZABETH BLANCO GONZÁLEZ** titulado: "FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*PINUS OCCARPA SCHIEDE EX SCHLTDL*) PARA SU APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO".  
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2014

Cc: Archivo  
VMMV/ale



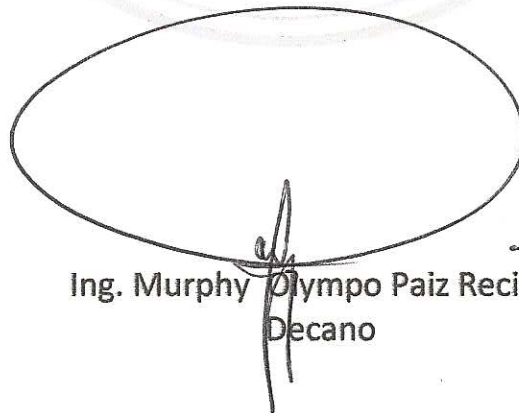




DTG. 134.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DE COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*) PARA SU APLICACIÓN EN CARTÓN CHIP CALIBRE 80, A ESCALA LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria **Marleny Elizabeth Blanco González**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 21 de marzo de 2014

/gdech







## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por todas sus bendiciones y por permitirme culminar con éxito esta meta.
- Mis padres** Byron Amilcar Blanco Rivera y Marta Elizabeth González Girón, por la educación, apoyo incondicional y amor que me han dado.
- Mis hermanos** Mildred Karina Blanco González y Byron Ronaldo Blanco González, por su apoyo y por estar siempre a mi lado.
- Mi familia** Por su apoyo y cariño a lo largo de mi vida.
- Daniel Arévalo** Por ser alguien especial en mi vida y por todo el apoyo. Te amo.
- Mis amigos** Por todos los momentos que compartimos y por su cariño.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mis asesores**

Ingeniera Telma Cano e ingeniero Mario Mérida, por el apoyo y valiosa asesoría durante la elaboración de mi trabajo de graduación.

### **Ing. César García**

Por sus conocimientos y tiempo dedicado a la revisión de esta investigación.

### **Jose Istupe**

Por su amistad y colaboración durante la realización de esta investigación.





2.5.	Proceso de extracción de la colofonia: destilación .....	10
2.6.	Uso de la colofonia en la elaboración de adhesivos .....	11
2.7.	Adhesivos.....	12
2.7.1.	Historia .....	12
2.7.2.	Definición.....	13
2.8.	Teorías sobre adhesión.....	16
2.8.1.	Fenómenos físicos .....	17
2.8.1.1.	Modelo de adhesión mecánica.....	17
2.8.1.2.	Teoría de la difusión.....	17
2.8.1.3.	Teoría eléctrica.....	17
2.8.2.	Fenómenos químicos .....	18
2.8.2.1.	Teoría de adsorción termodinámica o mojado superficial.....	18
2.9.	Ventajas y desventajas de los adhesivos.....	18
2.9.1.	Ventajas de los adhesivos.....	19
2.9.2.	Desventajas de los adhesivos .....	19
2.10.	Clasificación de los adhesivos .....	20
2.10.1.	Composición química .....	20
2.10.1.1.	Adhesivos acrílicos.....	20
2.10.1.2.	Adhesivos con base en caucho.....	21
2.10.2.	Soporte químico .....	21
2.10.2.1.	Sistemas con base en agua (dispersiones) .....	21
2.10.2.2.	Adhesivos con base en disolvente ....	21
2.10.2.3.	Hot melts (100 % sólidos) .....	21
2.10.3.	Uso final .....	22
2.10.3.1.	Adhesivos permanentes .....	22
2.10.3.2.	Adhesivos removibles .....	22
2.11.	Factores que influyen en la adhesión.....	22

2.11.1.	El sustrato.....	22
2.11.1.1.	Rugosidad .....	23
2.11.1.2.	Humedad .....	23
2.11.1.3.	Tensión superficial.....	23
2.11.1.4.	Forma .....	24
2.11.2.	Temperatura .....	24
2.11.2.1.	Bajas temperaturas.....	24
2.11.2.2.	Altas temperaturas.....	24
2.12.	Caracterización fisicoquímica y fisicomecánica.....	25
2.12.1.	Propiedades de los adhesivos .....	25
2.12.1.1.	Viscosidad .....	25
2.12.1.2.	Contenido de sólidos .....	26
2.12.1.3.	Tiempo de secado .....	26
2.12.1.4.	Color .....	26
2.12.1.5.	Densidad .....	26
2.12.1.6.	Esfuerzo cortante (resistencia a la fractura).....	27
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	29
3.1.	Variables.....	29
3.1.1.	Variables independientes .....	29
3.1.2.	Variables dependientes .....	30
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	30
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	31
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	32
3.4.1.	Materia prima y reactivos.....	32
3.4.2.	Cristalería .....	32
3.4.3.	Otros instrumentos de laboratorio.....	33
3.4.4.	Equipo auxiliar .....	33

3.4.5.	Equipo de medición.....	33
3.5.	Técnica cualitativa.....	35
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	38
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	39
3.7.1.	Procedimiento para la formulación del adhesivo ....	39
3.7.2.	Método para la determinación del tiempo de secado.....	43
3.7.3.	Método para la determinación del contenido de sólidos .....	44
3.7.4.	Método para la determinación de la densidad.....	44
3.7.5.	Método para la determinación de la viscosidad.....	45
3.7.6.	Método para color del adhesivo .....	45
3.7.7.	Método para la determinación del ensayo de resistencia a la fractura (esfuerzo) por superposición simple .....	46
3.7.8.	Método para la determinación del ensayo de pelado en “T” .....	46
4.	RESULTADOS.....	49
4.1.	Tiempo de secado del adhesivo.....	49
4.2.	Densidad del adhesivo .....	52
4.3.	Contenido de sólidos del adhesivo.....	54
4.4.	Viscosidad del adhesivo.....	57
4.5.	Resistencia a la fractura por superposición simple .....	58
4.6.	Ensayo de pelado en “T” .....	61
4.7.	Color.....	63



5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
5.1.	Prueba del tiempo de secado .....	65
5.2.	Prueba de densidad .....	65
5.3.	Contenido de sólidos .....	66
5.4.	Prueba de viscosidad .....	66
5.5.	Color.....	67
5.6.	Ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple .....	67
5.7.	Ensayo de pelado en "T" .....	68
	CONCLUSIONES .....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	APÉNDICES .....	79
	ANEXOS.....	131



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Equipo de destilación, LIEXVE.....	10
2.	Esquema de unión adhesiva .....	14
3.	Adhesión y cohesión en el proceso de adherencia entre dos sustratos y el adhesivo.....	15
4.	Prueba de resistencia a la fractura (esfuerzo). Por superposición simple.....	27
5.	Ensayo de pelado en “T” .....	28
6.	Diseño general para la formulación de adhesivo .....	35
7.	Relación del tiempo de secado con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones.....	51
8.	Relación de la densidad con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones .....	53
9.	Relación del contenido de sólidos con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones .....	56
10.	Relación de la viscosidad con las formulaciones del adhesivo .....	57
11.	Relación del ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones.....	60
12.	Relación del ensayo de pelado en “T” con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones .....	62

## TABLAS

I.	Aplicaciones de la colofonia en la industria .....	4
II.	Nomenclatura norteamericana de la colofonia de acuerdo a su calidad .....	8
III.	Patrón de uso final de los adhesivos .....	13
IV.	Formulación del adhesivo tomando como base 150 g .....	29
V.	Diseño experimental de las formulaciones del adhesivo .....	38
VI.	Determinación del tiempo de secado y tiempo promedio para las seis formulaciones, repetición uno .....	49
VII.	Determinación del tiempo de secado y tiempo promedio para las seis formulaciones, repetición dos .....	50
VIII.	Determinación del tiempo de secado y tiempo promedio para las formulaciones, repetición tres .....	50
IX.	Determinación de la densidad del adhesivo para las seis formulaciones, repetición uno .....	52
X.	Determinación de la densidad del adhesivo para las seis formulaciones, repetición dos .....	52
XI.	Determinación de la densidad del adhesivo para las seis formulaciones, repetición tres .....	53
XII.	Determinación de la medición de sólidos para las seis formulaciones, repetición uno .....	54
XIII.	Determinación de la medición de sólidos para las seis formulaciones, repetición dos .....	55
XIV.	Determinación de la medición de sólidos para las seis formulaciones, repetición tres .....	55
XV.	Determinación de la viscosidad de las seis formulaciones, de la repetición uno a la tres .....	57

XVI.	Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, repetición uno .....	58
XVII.	Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, repetición dos .....	59
XVIII.	Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, repetición tres.....	59
XIX.	Determinación del ensayo de pelado en “T”, repetición uno .....	61
XX.	Determinación del ensayo de pelado en “T”, repetición dos .....	61
XXI.	Determinación del ensayo de pelado en “T”, repetición tres.....	62
XXII.	Color de las seis formulaciones del adhesivo .....	63



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>Cps</b>	Centipoise
<b><math>\sigma</math></b>	Desviación estándar
<b>S</b>	Desviación estándar muestral
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>kgf</b>	Kilogramo fuerza
<b>lbf</b>	Libra fuerza
<b>m</b>	Masa
<b>ml</b>	Mililitro
<b>%</b>	Porcentaje
<b><math>\bar{X}</math></b>	Promedio
<b>in</b>	Pulgada
<b>in<sup>2</sup></b>	Pulgada cuadrada
<b>t</b>	Tiempo





## GLOSARIO

<b>Adherente</b>	Superficie que está unido mediante un adhesivo.
<b>Adhesión</b>	Estado en el que dos superficies se mantienen unidas por fuerzas intermoleculares.
<b>Adhesivo</b>	Sustancia capaz de mantener juntos dos materiales por unión superficial.
<b>ASTM</b>	American Section of the International Association for Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
<b>Caucho natural</b>	Sustancia natural que se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas.
<b>Colofonia</b>	Resina natural ámbar obtenida de la destilación de la trementina de las especies de pino.
<b>Destilación</b>	Proceso que consisten en separar sustancias miscibles por medio de vaporización y condensación, aprovechando sus distintas volatilidades.

<b>Ensayo</b>	Prueba que determina propiedades mecánicas de un material.
<b>Fallo adhesivo</b>	Ruptura de una unión adhesiva, que se da en la interfase adhesivo-sustrato.
<b>Resina</b>	Sustancia solida o semisólida, que es una secreción de las coníferas. Se utiliza para la producción de barnices y adhesivos.
<b>Tackificante</b>	Propiedad de una sustancia adhesiva. Esta propiedad permite formar un enlace al instante cuando un adhesivo y una superficie entran en contacto.
<b>Viscosidad</b>	Es la magnitud de la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Representa la resistencia de un líquido a fluir.
<b>Viscosímetro Brookfield</b>	Instrumento usado para medir la viscosidad. Las lecturas pueden transformarse en unidades centipoise (cps) mediante una tabla de conversión.
<b>Xileno comercial</b>	(Xilol) líquido incoloro, con olor ligero. Mezcla de tres isómeros (orto, meta y para xileno).

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se formuló y caracterizó un adhesivo, a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno, y diferentes concentraciones de colofonia, tomando como base 150 g del adhesivo. Se realizaron 6 formulaciones, con 3 observaciones para un total de 18 unidades experimentales.

Para la extracción de la colofonia se utilizó como materia prima la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*). El proceso de extracción de la colofonia y la formulación del adhesivo se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Las pruebas fisicomecánicas se realizaron en Laboratorio de Análisis Físicoquímicos (LAFIQ) sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

A las muestras del adhesivo se realizaron análisis físicoquímicos y fisicomecánicos, siendo estos, viscosidad, tiempo de secado, color de adhesivo, medición de sólidos, densidad y determinación del esfuerzo cortante por superposición simple y ensayo de pelado en "T". Se determinó por los análisis físicoquímicos y fisicomecánicos que la formulación de adhesivo que tiene mejores propiedades para un adhesivo es la que contiene 5 % de colofonia y 95 % de solución de composición: 20 % de caucho natural disuelto en xileno.



## OBJETIVOS

### General

Formular y caracterizar un adhesivo para su aplicación en cartón chip calibre 80 a base de colofonia de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schlttl*), a escala laboratorio.

### Específicos

1. Elaborar distintas formulaciones de un adhesivo, en función de la concentración de caucho natural y xileno.
2. Caracterizar fisicoquímicamente el adhesivo para su aplicación en cartón con base a mediciones de viscosidad, color del adhesivo, tiempo de secado, medición de sólidos y densidad.
3. Caracterizar fisicomecánicamente las diferentes formulaciones del adhesivo en función de la resistencia a la fractura (esfuerzo) por superposición simple (Norma ASTM D2919-90) y ensayo de pelado en "T" (Norma ASTM D 1876-72).

## **Hipótesis**

Existe diferencia significativa en la calidad del adhesivo obtenido a partir de la colofonia de resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl*), en función de las diferentes composiciones de solución de caucho natural diluido xileno.

### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

Las propiedades fisicoquímicas del adhesivo obtenido, no se ven afectadas por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Las propiedades fisicomecánicas del adhesivo obtenido, no se ven afectadas por las diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno.

### **Hipótesis alterna (H<sub>a</sub>)**

Las propiedades fisicoquímicas del adhesivo obtenido, se ven afectadas por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Las propiedades fisicomecánicas del adhesivo obtenido, se ven afectadas por las diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno.

## INTRODUCCIÓN

Desde épocas antiguas se han utilizado los adhesivos para unir materiales para la fabricación de diversos utensilios, armas, usos domésticos, pinturas rupestres, para construcciones, entre otros usos. Los adhesivos creados en la antigüedad se hicieron de diversas materias primas, en las que se incluían: sangre, sustancias obtenidas de animales como los moluscos y pescados, piel de animales, resinas naturales de los árboles, almidones, engrudos a base de resina vegetal y ceras.

En la actualidad, existen pegamentos fabricados a partir de materiales sintéticos como los polímeros. Estos debido a su gran versatilidad, se han utilizado para la unión de muchos materiales porosos como la madera, y no porosos como metal, vidrio, plásticos. El desarrollo de adhesivos a lo largo de la historia ha sido muy importante, creando un mayor impacto a nivel industrial.

Los adhesivos que se encuentran en el mercado están fabricados a partir de materiales sintéticos, pero aún se utilizan varios materiales naturales, como las resinas naturales y almidones. Las resinas naturales son secreciones procedentes de árboles, por exudación natural o provocada por incisiones en su corteza. Las especies forestales de las cuales se pueden extraer resinas se encuentran los pinos.

En Guatemala se encuentran diversas especies forestales de las cuales se pueden obtener resina, materia prima natural para la fabricación de diversos productos. La colofonia es obtenida de la extracción por destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*).

La colofonia es utilizada para la fabricación de productos tales como lacas, productos de limpieza, barnices, pinturas, colas y adhesivos, entre otras. La importancia de utilizar la colofonia es por ser una materia prima natural nacional.

Por las diferentes aplicaciones de la colofonia, el presente trabajo trata de formular un producto adhesivo, a diferentes concentraciones de colofonia y diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno, aplicándolo en cartón. Se determinan las propiedades del adhesivo por medio de las pruebas fisicoquímicas y pruebas fisicomecánicas. Esto para determinar la formulación que tiene mejores propiedades adhesivas.



## 1. ANTECEDENTES

Los estudios realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre la colofonia, su extracción y elaboración de productos tomando como materia prima la colofonia, se encuentran:

- *Desarrollo de un producto adhesivo para una aplicación específica en la industria papelera que utiliza como base una materia prima nacional: Colofonia.* Trabajo de graduación realizado por Rodolfo Villalba Farnes, 1994. Este trabajo consistió en la elaboración de un adhesivo a base de colofonia, el cual debía tener características adecuadas para el encolado del papel higiénico al rollo, entre las cuales se encuentra que debía perder su adhesividad en determinado tiempo: entre el encolado para que la solapa no despegara hasta el movimiento que se le daba al rollo al momento de empacarlo.
- *Principios y recomendaciones para la aplicación de adhesivos de poliuretano base solvente sobre suelas sintéticas, utilizadas en la fabricación de calzado guatemalteco.* Trabajo de graduación realizado por Ana Roxanda Reiche Juarez, 1996. Este trabajo consistió en una investigación bibliográfica referente a adhesivos y sus aplicaciones. Se enfatizó en adhesivos formulados a partir de resinas de poliuretano en la aplicación en el área de calzado. Describe las pruebas de calidad realizadas a adhesivos.

- *Destilación de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) extraída en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterización de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio.* Trabajo de graduación realizado por Roderico Anibal Aja Morataya, 2006. Este trabajo consistió en la obtención y caracterización de la colofonia de la resina de pino ocote a partir de la destilación, realizado a nivel laboratorio. Se analizaron dos mezclas de resina-agua-aguarrás, se le realizaron ensayos fisicoquímicos y así se conoció la mezcla que obtuvo el mayor rendimiento en la extracción.
- *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) a nivel laboratorio, cumpla con las especificaciones para la formulación de barnices fluorados.* Trabajo de graduación realizado por Ana Lucrecia González Almengor, 2012. Este trabajo consistió en la obtención y caracterización de la colofonia a partir de la destilación a nivel laboratorio, analizando cinco mezclas. A estas se les realizó la caracterización fisicoquímica para obtener la mezcla óptima que cumpliera con los requerimientos para la elaboración de un barniz dental fluorado.
- *Formulación y caracterización química del barniz fluorado para uso dental a base de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl), variando concentraciones de fluoruro de sodio y etanol, a nivel laboratorio.* Trabajo de graduación realizado por Geraldina Elizabeth García Quiroa, 2012. Este trabajo planteó la formulación y caracterización química de un barniz dental fluorado, el cual usó como vehículo la colofonia. Se realizaron diferentes formulaciones variando sus diferentes componentes y se les realizaron pruebas fisicoquímicas, y así, determinar la formulación de mejor calidad.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Colofonia**

La colofonia Rosyn es un material sólido resinoso transparente de color ámbar que se obtiene mediante la exudación de los pinos o de la madera de tocones de los pinos, constituido, en mayor proporción, por ácidos resínicos en 90 % (en su mayoría no saturada) y de materias neutras en 10 % (éster de ácidos grasos, alcohol, terpenos e hidrocarburos).

A la colofonia Rosyn se le llama colofonia de miera ("*Gum rosin*"), ya que partir de la secreción resinosa, se separa la fracción volátil por medio de la destilación con arrastre de vapor, conocida como esencia de trementina o aguarrás.

La apariencia de la colofonia es de aspecto vítreo, traslúcido, casi inodora. Es dura y quebradiza a temperatura ambiente. Al calentarla a temperaturas de 70 – 80 °C es blanda y pegajosa. Es insoluble en agua. Soluble en alcohol, benceno, éter, ácido acético glacial. Poco tóxica, combustible y desprende gases inflamables al calentarla.

### **2.2. Aplicaciones de la colofonia**

Industrialmente, la colofonia tiene varias aplicaciones ya que posee propiedades como colorantes, emulsificante y decapante. Las industrias que utilizan la colofonia y sus derivados de manera extensa son las que fabrican tintas, adhesivos y papel.

Tabla I. **Aplicaciones de la colofonia en la industria**

ACTIVIDADES	PRODUCTOS QUE CONTIENEN COLOFONIA
<b>Medicina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pañales para niños y adultos y productos de higiene, esparadrapos, vendajes, steristrips</li> <li>• Matrices de medicamentos</li> <li>• Productos dentarios</li> <li>• Líquidos antiverrugas</li> <li>• Linimentos</li> <li>• Bolsas de colostomía</li> <li>• Vestidos quirúrgicos de papel</li> <li>• Productos veterinarios: conservantes de medicamentos y repelentes para perros</li> </ul>
<b>Cosmética</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ceras para depilación</li> <li>• Máscaras y sombras para párpados</li> <li>• Laca de uñas</li> <li>• Pintura de labios</li> <li>• Productos capilares, brillantina</li> <li>• Jabones para la limpieza corporal</li> </ul>
<b>Agricultura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forestal: pinos, abetos y otras coníferas</li> <li>• Productos para el tratamiento de bosques y lacas para la madera</li> <li>• Serrín de madera de pino, abetos y otras coníferas</li> </ul>
<b>Industria en general</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tintas de imprenta</li> <li>• Colas y adhesivos para embalajes, sellados de cajas, etiquetados, masillas, calafateadores y selladores en general</li> <li>• Papeles</li> <li>• Fundentes de soldadura. Vapores de soldadura al estaño de mezcla blanda</li> <li>• Lacas, barnices, pinturas</li> <li>• Aceites de corte (emulsificante)</li> <li>• Ceras, betunes y encáusticos (para coches, cuero, muebles, suelos)</li> <li>• Revestimientos de superficies, linóleo</li> <li>• Aislantes eléctricos y térmicos, aislantes en la industria electrónica</li> <li>• Aditivos en la fabricación de cauchos sintéticos y plásticos</li> <li>• Productos de limpieza</li> <li>• Velas perfumadas</li> <li>• Ambientadores</li> </ul>
<b>Actividades artísticas y deportivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubos de colofonia para frotar los arcos de violín</li> <li>• Polvos antiderrapantes para bailarines y distintos deportes</li> </ul>

Fuente: <http://www.interquim.i8.com/IQconc.htm>. Consulta: junio de 2012.

### **2.3. Especie forestal donde se extrae la resina**

La especie de árbol es pino ocote, proveniente de Granados, Baja Verapaz. Esta especie de pino es la que contiene abundante resina, que se usa para producir aguarrás y brea.

#### **2.3.1. Descripción**

El pino ocote es un árbol de 12-18 m de altura por 40-75 cm de diámetro. Se encuentran en altitudes desde 200 hasta 2 500 msnm, alcanzando un mejor desarrollo de la especie en altitudes de 600 a 1 800 msnm, a temperaturas de 13 a 23 °C y precipitaciones de 650 – 200 mm, con época seca de 5-6 meses. La copa del pino es redondeada y compacta, tiene ramas fuertes y extendidas.

Su corteza es agrietada oscura. Las hojas tienen color verde claro y se concentran en el extremo de las ramas. La madera es suave y ligera con textura uniforme, con olor resinoso característico. Esta especie de pino es buena productora de resina.

#### **2.3.2. Recolección de la resina de pino**

La resina de pino es una exudación brillante, que se extrae por sistemas de resinación, que se usan para hacer que fluya hacia el exterior la oleorresina.

La resinación es la actividad que consiste en la extracción de la resina que fluye de los pinos durante cierto tiempo, a través de las picas. Los sistemas de resinación más aplicados son:

### **2.3.2.1. Sistema de cajete o americano primitivo**

Se ha usado desde hace mucho tiempo. Este método de extracción consiste en abrir un cajete que abarcaba más de la mitad del diámetro, que sirve para recolectar la resina que fluye de las paredes de la cavidad. La herramienta utilizada es el hacha. Las picas se hacen cada 4 a 6 días. La resina obtenida de este método es de calidad inferior, por tener un alto contenido de impurezas. Se obtiene bajo contenido de aguarrás. En lo que refiere al árbol, la parte inferior del mismo se debilita, hay mayor ataque de plagas y progresivamente, el derribamiento del pino por el viento.

### **2.3.2.2. Sistema Francés o de Hugues**

Consiste en raspar la corteza hasta llegar a la albura, donde se talla una U invertida, hasta una altura máxima de 2,5 m. La resina obtenida es de mejor calidad y su pérdida son mínimas comparado con el método anterior. Su costo de producción es mayor, debido a que las picas requieren más tiempo. Existe ataque de insectos y hongos en los cortes realizados.

### **2.3.2.3. Método de pica de corteza**

La resinación se efectúa mediante estimulantes químicos, como los ácidos sulfúrico y clorhídrico, esto reduce el número de picas al aumentar los intervalos entre. Se corta la corteza y el liber, sin afectar la albura, por lo que es necesario aplicar un estimulante. Con este método, se trabaja de abajo hacia arriba. La producción de resina por este método es relativamente baja, aumenta los costos por la necesidad de usar estimulantes químicos y son productos peligrosos para la persona que los aplique.

#### **2.3.2.4. Americano de copa y panal**

Consiste en quitar, en cada pica, fajas de aproximadamente 15 cm, seguidamente, se complementa con el luso de ácido sulfúrico en pasta como estimulante, para obtener buena producción de resina. Este método de resinación es prologado y el árbol sufre daño mínimo. El uso del ácido sulfúrico es peligroso para el resinero. Se obtiene bajo contenido de aguarrás.

#### **2.3.2.5. Sistema de recolección de resina**

Hay dos temporadas de recolección al año. La mejor es durante la época seca, los meses de marzo a junio, debido a que los recolectores pueden desplazarse con mayor facilidad dentro del bosque, lo que implica un mayor volumen de resina recogida. En época lluviosa (agosto a noviembre), además de que el traslado se complica por el deterioro de los caminos, la resina, por tener menor densidad que el agua, se pierde debido a que se escurre de los contenedores del suelo.

En promedio un pino resinero produce un kilogramo de resina al mes, esta cantidad puede variar dependiendo del número de cortes verticales, llamados "caras", que se realizan en el tronco para que la resina escurra. Según el diámetro del tronco pueden abrirse de una a cuatro caras en cada tronco.

### **2.4. Clasificación de la colofonia**

La calidad de la colofonia se establece por el color que se obtiene al extraerla después de la destilación de la resina proveniente de la madera del pino. El color varía desde color ámbar a café rojizo casi negro, esto dependerá de:

- La procedencia de la resina
- El recipiente y materiales que se emplearon para su recolección
- La limpieza de la resina
- La cantidad de materias extrañas que pudiera tener la resina, entre otras.

Los precios de la colofonia dependerán de su calidad de acuerdo al estándar establecido a continuación, siendo los matices más claros los mejores precios tendrán en el mercado.

Tabla II. **Nomenclatura norteamericana de la colofonia de acuerdo a su calidad**

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
X	Colofonia extra superior
WW	Colofonia extra superior
WG	Colofonia superior
N	Colofonia superior
M	Colofonia superior
K	Colofonia ordinaria
I	Colofonia ordinaria
H	Semicolofonia
G	Semicolofonia
F	Colofonia clara superior
E	Colofonia clara superior
D	Colofonia clara superior
B	Colofonia negra

Fuente: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0558E/A0558E.PDF>. Consulta: agosto de 2012.



## **2.4.1. Otros derivados de la resina de pino**

De la resina se obtiene la colofonia que representa más del 70 %. Otro producto que se obtiene, es el aguarrás y aceite esencial, que constituye aproximadamente el 20 % y el resto corresponde a impurezas

### **2.4.1.1. Aguarrás (esencia de trementina)**

Esta es la parte volátil de la resina y está constituida principalmente por hidrocarburos terpénicos monocíclicos. Este aceite está libre de impurezas, es incoloro, neutro, de olor penetrante, insoluble en agua y soluble en alcohol, éter, aceites grasos. Es tóxico por ingestión y moderadamente tóxico por inhalación y absorción cutánea. Es muy utilizado como disolvente de pinturas de aceites y barnices, entre otras aplicaciones.

Los precios varían de acuerdo al grado de calidad estándar establecido. Las especificaciones que tiene que cumplir es que el aguarrás no deberá tener materia en suspensión, que no esté emulsionado con agua, olor suave y aromático. Al igual que la colofonia, el aguarrás se clasifica de acuerdo a su coloración de transparente a amarillo:

- Blanco de agua (*Water White*)
- Estándar, normal (*Standard*)
- Un matiz menos (*One shade off*)
- Dos matices menos (*Two shades off*)

Los diferentes matices que presente el aguarrás dependerá de: el origen y edad de la resina, el proceso de extracción, tanques de almacenamiento, tiempo que estuvo a la intemperie, entre otras.

## 2.5. Proceso de extracción de la colofonia: destilación

Proceso de separación y purificación que consiste en la conversión de un líquido al estado vapor por medio de aplicación de calor y luego, la condensación de los vapores a un líquido que se recoge en un recipiente. Los componentes que pasan al estado vapor y luego se condensan para pasar a su forma líquida son los más volátiles. Mediante este proceso se separan mezclas líquidas en componentes más o menos puros. Los componentes más ligeros se concentran en la fase vapor y los más pesados, en la fase líquida.

Este proceso se lleva a cabo por diferencias en las volatilidades (y por tanto de puntos de ebullición) de los componentes en la mezcla. Por ejemplo, para que se pueda realizar una separación completa en una destilación individual, las diferencias de las volatilidades entre sus componentes deben ser grandes. De lo contrario, si las volatilidades difieren ligeramente, no se podría conseguir la separación total en una sola destilación.

Figura 1. **Equipo de destilación, LIEXVE**



Fuente: elaboración propia.

## **2.6. Uso de la colofonia en la elaboración de adhesivos**

La colofonia es un compuesto cuya importancia se ha visto desde hace muchos años. Entre sus usos industriales se mencionan: uso cosméticos, agricultura, productos deportivos y en la industria en general; por esto, la colofonia se caracteriza por tener versatilidad en diversas aplicaciones. Se extiende a las industrias de barnices, aislamientos eléctricos, adhesivos, recubrimientos, etc.

Además de los diversos usos que presenta el uso de la colofonia en diferentes productos, se presenta la ventaja de ser una resina natural, renovable y económica.

Entre las características que posee la colofonia, se mencionan: es hidrofóbica e hidrofílica. También posee características tackificantes, lo que la hace una materia prima de gran importancia para la industria de adhesivos, tanto para adherencia permanente como temporal.

Además, le confiere al adhesivo propiedades de viscosidad ideales para este fin. Se usa en la industria de la cohetería, para adherir el papel higiénico en el rollo, como cola para encuadernar libros, entre otros.

## **2.7. Adhesivos**

Los adhesivos están presentes en la vida cotidiana, desde su uso para la fabricación de objetos artesanales y domésticos, hasta su aplicación en la industria. Se ha extendido su uso debido que hay adhesivos con diferentes propiedades que lo hacen específico para unión de ciertas superficies.

### **2.7.1. Historia**

Los adhesivos se han utilizado desde épocas antiguas para unir materiales. Se fabricaban adhesivos naturales, tanto de origen animal y vegetal, para diferentes aplicaciones: fabricación de armas, utensilios, pinturas, en edificaciones, en usos domésticos, entre otras.

El uso de adhesivos ha estado presente a lo largo de la historia. En el siglo XX, debido al rápido crecimiento de la industria, se desarrollaron los polímero.

En la actualidad, el desarrollo de adhesivos a nivel industrial se ha incrementado. Los adhesivos se preparan cada vez con mezclas más complejas, siendo los más utilizados adhesivos sintéticos, ya que presentan mejoras ante diversos factores que pudieran la unión adhesiva y tienen versatilidad ante diversas aplicaciones que requieran su uso.

Las industrias que utilizan adhesivos para sus productos finales han aumentado. En la siguiente tabla se muestra los usos finales en los que se requieren adhesivos, y que son aplicaciones importantes en la vida diaria.

Tabla III. **Patrón de uso final de los adhesivos**

<b>Uso Final</b>	<b>Porcentaje Total</b>
Productos de madera	31,5
Empaque y conversión de papel	19,4
Construcción	15,3
Textiles	9,4
Fundición	4,4
Transporte	2,9
Productos engomados	2,8
Otros (aviación, eléctricos/electrónicos, calzado, encuadernación, abrasivos, ensamblaje de productos, consumidores domésticos, etc)	14,3
Total	100,0

Fuente: WITTCOFF, Harol A. Productos químicos orgánicos industriales. p. 190.

### **2.7.2. Definición**

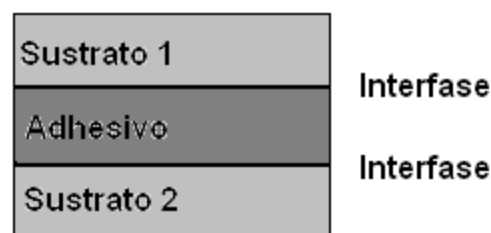
Un adhesivo es una sustancia capaz de unir las superficies de dos materiales (sustratos) debido a una propiedad importante llamada adherencia. La unión formada que es parecida a un film puede ser resistente a fuerzas mecánicas, agresiones químicas y ser estables frente a factores ambientales.

El fenómeno de la adherencia es debida a la formación de enlaces electrovalentes o covalentes entre el adhesivo y el sustrato, o con más frecuencia, debido a las fuerzas secundarias de Van der Waals. También desempeñan un papel importante las fuerzas de London o fuerzas de dispersión en la formación de enlaces secundarios.

Estas fuerzas existirán cuando el adhesivo y el sustrato estén juntos y disminuirán a medida que aumente la distancia entre los átomos. La propiedad que mantiene unido el propio adhesivo es la cohesión. Los factores que se dan en el proceso de adhesión antes del curado son:

- La relación entre la tensión superficial del adhesivo y la energía superficial del sustrato.
- Las propiedades reológicas del adhesivo antes de curar.

Figura 2. **Esquema de unión adhesiva**

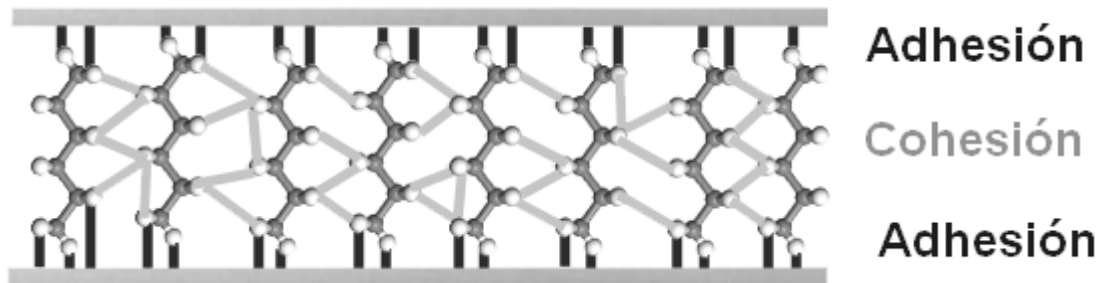


Fuente: elaboración propia.

Otro concepto importante en la adhesión es el de capa límite, que es una fina capa correspondiente a las interfaces entre el sustrato y el adhesivo en donde se producen las fuerzas que se mencionaron anteriormente.

La adhesión y la cohesión hacen referencia a las fuerzas o mecanismos que permiten mantener unidas el adhesivo con el sustrato (adhesión) y el propio adhesivo (cohesión). La adhesión entre el adhesivo y el sustrato puede ocurrir mecánicamente, en donde el adhesivo entra en los poros pequeños del sustrato, o por uno o de varios mecanismos químicos.

Figura 3. **Adhesión y cohesión en el proceso de adherencia entre dos sustratos y el adhesivo**



Fuente: <http://www.losadhesivos.com/definicion-de-adhesivo.html>. Consulta: junio de 2012.

Un adhesivo debe tener una alta fuerza tensil y debe ser capaz de resistir tipos de fuerzas destructoras como el impacto, deformación y torsión.

En una unión adhesiva puede darse ciertos fallos, debido a:

- Separación por adhesión: la separación ocurre en la interfase sustrato-adhesivo.
- Separación por cohesión: ocurre cuando se produce la ruptura del adhesivo.
- Ruptura de sustrato: el sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase sustrato-adhesivo.

Para lograr una fuerte adherencia, se debe tomar en cuenta:

- La solubilidad: el parámetro de solubilidad del adhesivo y del sustrato deben estar muy cercanos. Por ejemplo, un buen adhesivo para unir hule natural (cuyo parámetro de solubilidad es 7,9 – 8,3) a un plástico fenólico (cuyo parámetro de solubilidad es 11,5) es un hule de butadieno-acrilonitrilo (cuyo parámetro es 9,5), intermedio entre los dos sustratos y cercano a cada uno de ellos.
- El encogimiento: para aminorar este problema de adhesión, se debe utilizar capas tan delgadas de adhesivo como sea posible. Aplicar de esta manera el adhesivo es útil cuando hay una mala adherencia, ya que mientras más delgada sea la capa, mayores serán las fuerzas de adhesión y menores las de cohesión. Si se aplica una serie de capas delgadas, esta tendrá casi la misma resistencia de cohesión que una película aplicada al mismo grosor en un solo paso. Sin embargo, la película compuesta final demuestra mucha mayor adherencia porque cada capa delgada tiene la capacidad de ejercer fuerzas de adhesión antes de llegar a ser parte del todo más grueso.

## **2.8. Teorías sobre adhesión**

El fenómeno de adhesión se explica con varios modelos que justifican cada caso en particular sobre la unión adhesiva, pero cada uno no podría explicar totalmente este fenómeno siendo necesario usar la combinación de estos modelos. Los mecanismos de adhesión se desarrollaron por la interacción entre el adhesivo y los sustratos.



## **2.8.1. Fenómenos físicos**

La interacción física del adhesivo y sustrato es producida por la atracción-repulsión electrostática entre moléculas de los diferentes materiales.

### **2.8.1.1. Modelo de adhesión mecánica**

Esta teoría toma en cuenta solo la topografía del sustrato y el poder adhesivo. Explica que la adhesión depende de la porosidad y rugosidad de la superficie del material, ya que la zona de contacto real entre los materiales depende de la humectabilidad del adhesivo en la superficie del sustrato. Entonces es conveniente asegurarse de la buena humectabilidad del adhesivo, para que logre penetrar en la superficie porosa del material.

### **2.8.1.2. Teoría de la difusión**

Explica la interacción debido a la adhesión de los polímeros entre sí. Cuando existe compatibilidad entre dos polímeros, las cadenas poliméricas serán solubles entre ellas. Esta mezcla produce una difusión de las moléculas entre el adhesivo y el sustrato, que viene dado por el peso molecular. Las cadenas poliméricas cortas tienen alta movilidad, penetrando en el otro material antes que las cadenas poliméricas largas

### **2.8.1.3. Teoría eléctrica**

Esta teoría explica que la adhesión entre el adhesivo y el sustrato se genera debido a que las cargas de signo opuesto se atraen entre sí.

Compara la combinación adhesivo-sustrato a un condensador plano, cuyas placas lo constituye la doble capa eléctrica formada por materiales de distinta naturaleza al ponerse en contacto.

## **2.8.2. Fenómenos químicos**

El tipo de interacción en este fenómeno es debida a la reacción química entre las moléculas del adhesivo y del sustrato

### **2.8.2.1. Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial**

Al poner en contacto dos superficies no importa que exista o no difusión del adhesivo, porque las fuerzas intermoleculares que se dan en la interfase son suficientes para garantizar la adhesión. Estas fuerzas son llamadas de humectación o mojabilidad, porque al formar una unión se pasa por una fase de contacto entre el líquido y el sólido. Esta teoría es útil para explicar el uso y funcionamiento de agentes compatibles existentes entre el sustrato y el adhesivo.

## **2.9. Ventajas y desventajas de los adhesivos**

En muchas aplicaciones tanto domésticas como industriales, en las que unir materiales es una parte importante del proceso para la realización de un producto, se usan muchas técnicas, como: la soldadura, remachado, atornillado, entre otras. El uso de adhesivos se ha expandido, ya que se han fabricado de materiales poliméricos y debido a eso, sus propiedades son muy versátiles.

### **2.9.1. Ventajas de los adhesivos**

- Se pueden realizar uniones de sustratos diferentes en forma, tamaño y composición.
- Elimina la corrosión cuando se unen metales con diferentes potenciales galvánicos.
- No deforma y no produce agresión mecánica a los sustratos, evitando daños a la estructura del material.
- Mejora el aspecto estético al diseño del producto.
- Reducción de costos al eliminar componentes como tornillos, tuercas, etc y los procesos utilizados para la unión
- Resistencia a impactos.
- Disminución de ruidos y vibraciones.
- Sirven como selladores.
- Reduce el peso del producto.
- Reduce el consumo de energía y emisión de contaminantes al ambiente.

### **2.9.2. Desventajas de los adhesivos**

- En comparación con otras técnicas de unión, se necesita cierto tiempo para que haya una resistencia final de la unión adhesiva.
- La temperatura es un factor importante en la resistencia de los adhesivos.
- Algunos adhesivos se ven afectados por diversos factores químicos y físicos del ambiente como: la luz ultravioleta, agentes químicos, humedad, etc.
- Antes de aplicar el adhesivo a las superficies, se deben preparar y limpiar adecuadamente para conseguir una buena adhesión. Esto variará dependiendo de los materiales y el adhesivo.

- Al desmontar uniones adhesivas, esto puede llegar a deformar y destruir los materiales unidos.
- La implementación de medidas de seguridad, uso y de acciones necesarias para el personal que manipule los adhesivos es de vital importancia. De igual manera, se debe conocer las formas de desechar los residuos, su tratamiento y reciclaje.
- El personal que se encuentre ligado al proceso de adhesivado deberá ser calificado.

## **2.10. Clasificación de los adhesivos**

Debido a la variedad de materias primas utilizadas y aplicaciones que pueden tener los adhesivos, se pueden clasificar según: la composición química, soporte químico y uso final.

### **2.10.1. Composición química**

Las materias primas que más se utilizan para un adhesivo se encuentran las resinas sintéticas y caucho, ya sea natural o sintético. Dependiendo de las materias primas que se utilicen, el adhesivo tendrá características que lo definirán para diferentes usos.

#### **2.10.1.1. Adhesivos acrílicos**

Estos polímeros sintéticos pertenecen a la familia de resinas termoplásticas. Ofrecen adhesión fuerte y duradera a temperatura normales. Tienen buenas propiedades de envejecimiento y resistencia a los rayos UV.

### **2.10.1.2. Adhesivos con base en caucho**

Estos pueden estar hechos de caucho sintético o de caucho natural. Contienen resinas taquificantes y otros modificadores porque el caucho no es fundamentalmente adherente. La resistencia a rayos UV es considerablemente inferior a los adhesivos acrílicos.

### **2.10.2. Soporte químico**

Los adhesivos tienen diferentes bases que se usan para llegar a la concentración deseada del producto. Estas bases sirven como un vehículo cuando se aplica el adhesivo sobre una superficie.

#### **2.10.2.1. Sistemas con base en agua (dispersiones)**

Después de la aplicación del adhesivo, el agua se evapora.

#### **2.10.2.2. Adhesivos con base en disolvente**

El disolvente se evapora durante el secado.

#### **2.10.2.3. Hot melts (100 % sólidos)**

Este tipo de adhesivo se funde antes de ser aplicado al sustrato. Ofrece excelente adhesión a sustratos húmedos. La limitación es su resistencia al calor, puesto que si se somete el producto a altas temperaturas, el adhesivo comenzará a fundirse.

### **2.10.3. Uso final**

Dependiendo de la finalidad del adhesivo, estos se pueden clasificar como permanentes y removibles.

#### **2.10.3.1. Adhesivos permanentes**

Estos están diseñados para permanecer definitivamente en el sustrato.

#### **2.10.3.2. Adhesivos removibles**

Diseñados para tener poca adherencia al sustrato y que pueda removerse con facilidad.

### **2.11. Factores que influyen en la adhesión**

Cuando se utilice un adhesivo en cualquier aplicación, se deben establecer que factor o factores influyen para obtener una buena adhesión.

#### **2.11.1. El sustrato**

El sustrato es el material sobre el cual se aplicará el adhesivo, el cual se unirá con otro sustrato. Los sustratos pueden tener la misma o diferente composición.

#### **2.11.1.1. Rugosidad**

Dependiendo de la rugosidad o suavidad que tenga la superficie, esto afectará el área de contacto del adhesivo. Por ejemplo, el cartón. Las partes más elevadas de su superficie son las que estarán en contacto con el adhesivo, mientras que las cavidades no estarán en contacto. Esto hace que el área de contacto total sea pequeña y la adhesión resultante baja.

#### **2.11.1.2. Humedad**

La humedad del sustrato afecta en el proceso de adherencia. Dependiendo de la cantidad de humedad que presente el sustrato se pueden usar: adhesivo en base agua, si presenta cierta cantidad de agua que pueda tolerar el adhesivo; y si tiene demasiada humedad el sustrato, se pueden usar los *hot melts* y adhesivos en base disolvente, ya que no se ven afectados por la humedad a falta de sustancias que absorban el agua.

#### **2.11.1.3. Tensión superficial**

Esta propiedad implica que un líquido tiene una resistencia a aumentar su superficie. El comportamiento de la superficie del líquido debido a esto, es como si estuviera cubierta por una piel elástica débil. Para que un adhesivo humedezca el sustrato, la tensión superficial debe ser inferior o igual a la tensión superficial del sustrato a etiquetar. Esto hace que el adhesivo tenga mayor atracción hacia el sustrato donde se aplicó que hacia sí mismo.

#### **2.11.1.4. Forma**

Dependiendo de la forma del producto al que se aplicará el adhesivo puede suponer limitación en la elección del adhesivo.

#### **2.11.2. Temperatura**

La temperatura es un factor importante cuando se trata de adhesivos, ya que esto puede influir en sus propiedades.

##### **2.11.2.1. Bajas temperaturas**

Cuando la temperatura es baja, los adhesivos se endurecen. Esto hace que reduzca la adhesión.

##### **2.11.2.2. Altas temperaturas**

Los adhesivos se ablandan, lo cual es resultado de la reducción de cohesión interna. El reblandecimiento puede aumentar la adhesión y ayuda al adhesivo a fluir y el área de contacto con el sustrato aumenta. Pero si se ablanda mucho, el adhesivo puede perder sus propiedades.



## **2.12. Caracterización fisicoquímica y fisicomecánica**

Un adhesivo tiene ciertas propiedades que lo definen de otros adhesivos. Las propiedades que se utilizan para la realización de esta investigación se presentan a continuación.

### **2.12.1. Propiedades de los adhesivos:**

Entre las propiedades fisicoquímicas que se evalúan de los adhesivos se encuentran: viscosidad, contenido de sólidos, tiempo de secado, color y densidad. Las propiedades fisicomecánicas que se miden para conocer el esfuerzo son: resistencia a la fractura por superposición simple y pelado en "T".

#### **2.12.1.1. Viscosidad**

Se define como la fuerza que un fluido ejerce, en sentido contrario, ante una deformación característica tangencial. La viscosidad es caracterizada por la resistencia a fluir que se genera a partir del rozamiento entre las moléculas. La viscosidad de los fluidos se mide a través del coeficiente de viscosidad, parámetro que depende de la temperatura.

Para obtener la viscosidad del adhesivo se usa un viscosímetro de Brookfield, el cual utiliza diferentes *spindle* de acuerdo al rango de viscosidad del adhesivo. Se ajusta el *spindle* y se mide la viscosidad; y luego para determinarla, se introduce el *spindle* hasta la profundidad marcada con anterioridad en una velocidad indicada según el adhesivo. Este procedimiento descrito es según la Norma ASTM D 1084-88, Método B.

#### **2.12.1.2. Contenido de sólidos**

El contenido de sólidos es la cantidad de material no volátil que se encuentra en un adhesivo. Se expresa en porcentaje. Esta cantidad determina la capacidad de humectación y de adhesión que posee el adhesivo. Se realiza en una balanza de medición de sólidos, en el que se coloca una cantidad de adhesivo, midiendo la cantidad de sólidos en el adhesivo.

#### **2.12.1.3. Tiempo de secado**

Es el tiempo que se requiere para evaporar todo el solvente de una capa adhesivo. Esta prueba se realiza en una superficie de 1 pulgada cuadrada del cartón, previamente tarada, aplicando una cantidad de adhesivo. Luego se mide el cartón/disolvente cada minuto, para conocer la cantidad de solvente que se evaporaba. Se mide el tiempo de secado por establecimiento de secado al tacto.

#### **2.12.1.4. Color**

Se realiza esta prueba observando el color del adhesivo en su envase.

#### **2.12.1.5. Densidad**

Es la relación de la masa por unidad de volumen de un líquido a cierta temperatura. En una probeta, previamente tarada, se vierte el adhesivo. Luego se pesa para conocer la masa de adhesivo.

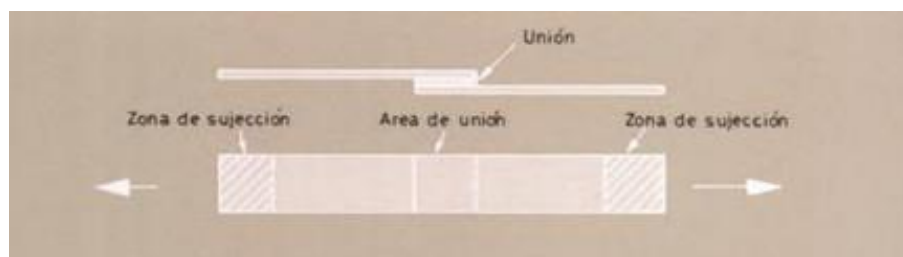
### 2.12.1.6. Esfuerzo cortante (resistencia a la fractura)

Se le conoce también como tensión o esfuerzo a la fractura. La resistencia a la fractura de un adhesivo es la máxima fuerza por unidad de área que se ha de aplicar con objeto de destruir la unión.

Con esta prueba se obtiene la relación de esfuerzo-deformación, a través de la determinación del esfuerzo cortante. El procedimiento consiste en someter a un esfuerzo dos sustratos unidos por el adhesivo. Este ensayo provee datos para conocer la durabilidad del adhesivo al aplicarle tensión.

El ensayo más sencillo es el de juntas por superposición simple. Las dimensiones del cartón para realizar este ensayo se toman de la Norma ASTM D2919-90.

Figura 4. **Prueba de resistencia a la fractura (esfuerzo). Por superposición simple**



Fuente: LIESA, Francisco. Adhesivos industriales. p. 116.

Otro tipo de ensayo es el de pelado en "T". Las dimensiones del cartón para realizar este ensayo se toman de la Norma ASTM D1876-72.

Figura 5. **Ensayo de pelado en “T”**



Fuente: LIESA, Francisco. Adhesivos industriales. p. 116.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Las variables independientes son las diferentes composiciones que componen la formulación, que son la causa del estudio. Las variables dependientes son las propiedades que se medirán y que se verán afectadas por la composición de la formulación.

##### 3.1.1. Variables independientes

Composición de la formulación del adhesivo, con tres concentraciones de colofonia y dos soluciones de diferentes concentraciones de caucho y xileno. La solución A compuesta por: 10 % de caucho natural disuelto en xileno; y la solución B compuesta por: 20 % de caucho natural disuelto en xileno.

Tabla IV. **Formulación del adhesivo tomando como base 150 g**

<b>Formulación</b>	<b>% Colofonia</b>	<b>% Solución de caucho y xileno</b>
1	5	95 % de solución A
2	10	90 % de solución A
3	20	80 % de solución A
4	5	95 % de solución B
5	10	90 % de solución B
6	20	80 % de solución B

Fuente: elaboración propia.

### **3.1.2. Variables dependientes**

- Viscosidad Se midió la viscosidad por medio del viscosímetro de Brookfield.
- Tiempo de secado Se midió por medio de establecimiento del tiempo de secado al tacto.
- Color del adhesivo Se observó el color del adhesivo en su envase.
- Medición de sólidos Se midió por medio de la balanza de humedad
- Densidad Se obtuvo por la determinación de la masa a volumen constante en una probeta.
- Esfuerzo cortante Por medio de una máquina de compresión axial adaptada con mordazas para sujetar los sustratos unidos por el adhesivo.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

- Campo de estudio: tecnología de adhesivos
- Área de investigación: creación de nuevos productos
- Línea de investigación: extracciones industriales

- Proceso: formulación y caracterización de un adhesivo a partir de colofonia de la resina de pino ocote (*Pinus Oocarpa Schiede ex Schlttdl*), aplicado en cartón, a escala laboratorio.
- Ubicación: en el municipio de Granados del departamento de Baja Verapaz, Guatemala, se obtuvo la materia prima. La formulación del adhesivo, la determinación de la densidad, medición de sólidos, tiempo de secado y color del adhesivo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La determinación de la viscosidad se realizó en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos (LAFIQ) sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. La determinación del esfuerzo cortante se realizó en la sección de Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigadora: Marleny Elizabeth Blanco González
- Asesora: Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales. (Colegiada No. 433)
- Asesor: Ingeniero Químico Mario José Mérida Meré. (Colegiado No. 1411)
- Apoyo técnico: Jose Istupe, Laboratorista de la sección de Mecánica de Suelos, CII, USAC

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Los recursos materiales disponibles son los que se utilizaron para la realización del estudio: materias primas y reactivos, cristalería, otros instrumentos de laboratorio, equipo auxiliar y equipo de medición.

#### **3.4.1. Materia prima y reactivos**

- Colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*)
- Xileno
- Caucho natural

#### **3.4.2. Cristalería**

- Recipiente para guardar materia prima
- Frascos de vidrio para almacenar materia prima
- Frascos de vidrio para almacenar producto final de 300 mL
- Probetas de 10 mL
- *Beackers* de 100, 250 y 500 mL
- Varillas de agitación



### **3.4.3. Otros instrumentos de laboratorio**

- Espátula
- Agitador magnético

### **3.4.4. Equipo auxiliar**

- Campana de extracción  
Marca: SERPROMA  
Voltaje: 110 V  
Potencia: 900 Watts
- Plancha de calentamiento y agitación  
Marca: CORNING  
No. Serie: 420504195081  
Modelo: PC-420  
Voltaje 120 V  
Frecuencia 60 Hz  
Potencia 698 W

### **3.4.5. Equipo de medición**

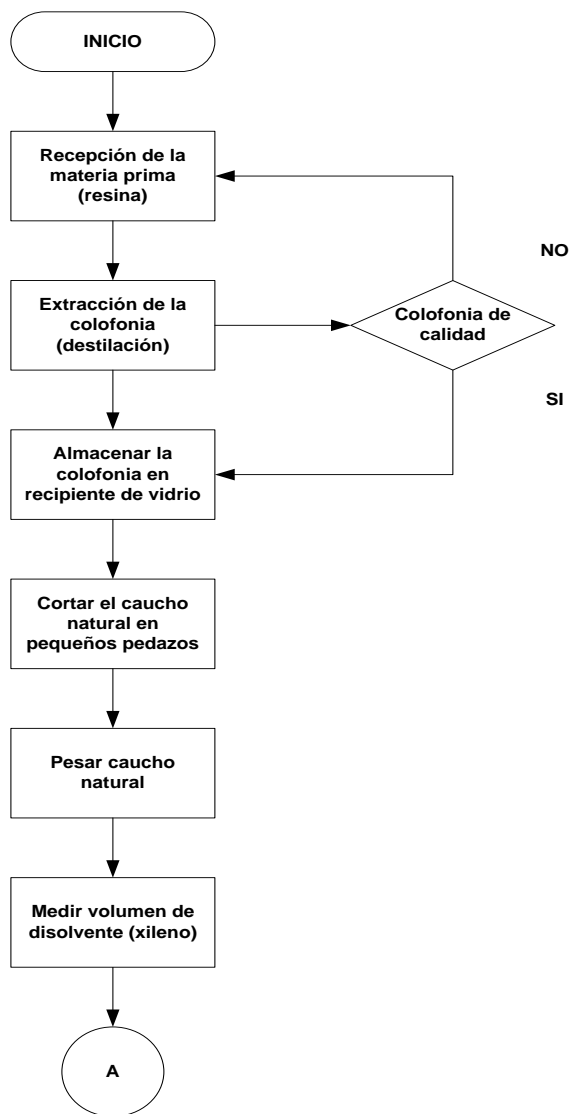
- Balanza de humedad  
Marca: BOECO  
Modelo: SM001

- Balanza analítica  
Marca: BOECO  
Modelo: BBL31  
Voltaje 10-20 V  
Frecuencia 48 - 60 Hz  
Máxima capacidad: 210 g  
Lectura mínima: 0.0001 g  
Hecha en Alemania
- Viscosímetro Brookfield  
Modelo: LVT  
Serie: 6519531  
Voltaje: 115 V  
Frecuencia: 50/60 Hz  
Hecha en Estados Unidos
- Máquina de compresión axial  
Modelo HM-2700.3F  
Anillo de carga HUMBOLDT
- Termómetro
- Cronómetro

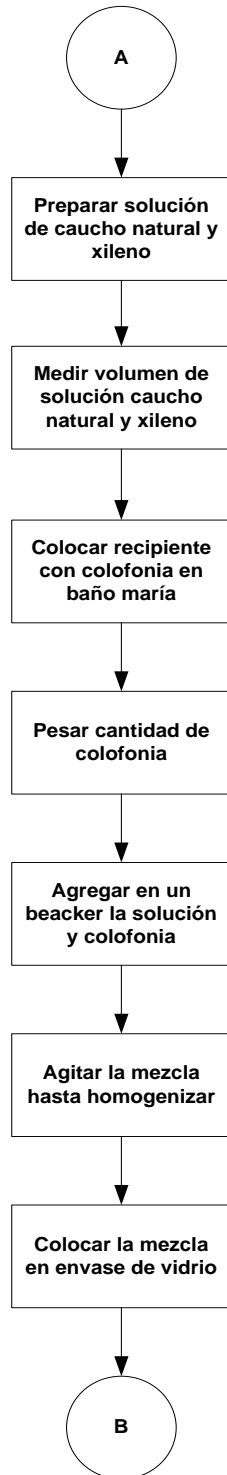
### 3.5. Técnica cualitativa

En la siguiente figura se describe el procedimiento realizado desde la recepción de materia prima, etapa de extracción, formulación y medición de las propiedades del producto.

Figura 6. **Diseño general para la formulación de adhesivo**



Continuación de la figura 6.



Continuación de la figura 6.



Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se obtuvo la colofonia a partir del proceso de destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*). Se utilizó una mezcla de agua – aguarrás – resina, 20 % - 5,71 % - 74,29 % respectivamente.

Para la elaboración del adhesivo, se trabajó con dos soluciones de diferentes concentraciones de caucho y xileno y tres concentraciones diferentes de colofonia, con tamaño de cada muestra de 150 mL. Se realizaron en total 6 formulaciones con 3 observaciones cada una, para un total de 18 tratamientos.

Se prepararon las formulaciones con tres concentraciones de colofonia y dos soluciones de diferentes concentraciones de caucho y xileno. La solución A compuesta por: 10 % de caucho natural disuelto en xileno; y la solución B compuesta por: 20 % de caucho natural disuelto en xileno.

Tabla V. **Diseño experimental de las formulaciones del adhesivo**

<b>Formulación</b>	<b>% Colofonia</b>	<b>% Solución de caucho y xileno</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>95 % de solución A</b>
<b>2</b>	<b>10</b>	<b>90 % de solución A</b>
<b>3</b>	<b>20</b>	<b>80 % de solución A</b>
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>95 % de solución B</b>
<b>5</b>	<b>10</b>	<b>90 % de solución B</b>
<b>6</b>	<b>20</b>	<b>80 % de solución B</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

Los datos obtenidos a partir de los resultados experimentales al caracterizar las formulaciones del adhesivo se tabulan en tablas para su comprensión y análisis.

#### **3.7.1. Procedimiento para la formulación del adhesivo**

El procedimiento realizado para la elaboración de seis formulaciones diferentes de adhesivo, se detalla a continuación:

- Base: 150 g de adhesivo. 5 % de colofonia y 95 % de solución A (10 % de caucho natural disuelto en xileno);
  - En un *beacker* de 500 mL, colocado en baño maría se fundió la colofonia;
  - Se pesó 7,5 g de colofonia;
  - Se pesó 14,25 g de caucho natural;
  - Se pesó 128,25 g de xileno;
  - En un *beacker* de 250 mL se colocaron el caucho natural y el xileno y se agitó hasta lograr una mezcla homogénea;
  - Al *beacker* con la solución de caucho natural y xileno, se le añadió la colofonia y se mezcló;

- Se colocó la mezcla en un frasco de vidrio debidamente cerrado y almacenado.
- Base: 150 g de adhesivo. 10 % de colofonia y 90 % de solución A (10 % de caucho natural disuelto en xileno);
  - En un *beacker* de 500 mL, colocado en baño maría se fundió la colofonia;
  - Se pesó 15 g de colofonia;
  - Se pesó 13,5 g de caucho natural;
  - Se pesó 121,5 g de xileno;
  - En un *beacker* de 250 mL se colocaron el caucho natural y el xileno y se agitó hasta lograr una mezcla homogénea;
  - Al *beacker* con la solución de caucho natural y xileno, se le añadió la colofonia y se mezcló;
  - Se colocó la mezcla en un frasco de vidrio debidamente cerrado y almacenado.
- Base: 150 g de adhesivo. 20 % de colofonia y 80 % de solución A (10 % de caucho natural disuelto en xileno);
  - En un *beacker* de 500 mL, colocado en baño maría se fundió la colofonia;



- Se pesó 30 g de colofonia;
  - Se pesó 12 g de caucho natural;
  - Se pesó 108 g de xileno;
  - En un *beacker* de 250 mL se colocaron el caucho natural y el xileno y se agitó hasta lograr una mezcla homogénea;
  - Al *beacker* con la solución de caucho natural y xileno, se le añadió la colofonia y se mezcló;
  - Se colocó la mezcla en un frasco de vidrio debidamente cerrado y almacenado.
- Base: 150 g de adhesivo. 5 % de colofonia y 95 % de solución B (20 % de caucho natural disuelto en xileno);
    - En un *beacker* de 500 mL, colocado en baño maría se fundió la colofonia;
    - Se pesó 7,5 g de colofonia;
    - Se pesó 28,5 g de caucho natural;
    - Se pesó 114 g de xileno;
    - En un *beacker* de 250 mL se colocaron el caucho natural y el xileno y se agitó hasta lograr una mezcla homogénea;

- Al *beacker* con la solución de caucho natural y xileno, se le añadió la colofonia y se mezcló;
- Se colocó la mezcla en un frasco de vidrio debidamente cerrado y almacenado.
- Base: 150 g de adhesivo. 10 % de colofonia y 90 % de solución B (20 % de caucho natural disuelto en xileno);
  - En un *beacker* de 500 mL, colocado en baño maría se fundió la colofonia;
  - Se pesó 15 g de colofonia;
  - Se pesó 27 g de caucho natural;
  - Se pesó 108 g de xileno;
  - En un *beacker* de 250 mL se colocaron el caucho natural y el xileno y se agitó hasta lograr una mezcla homogénea;
  - Al *beacker* con la solución de caucho natural y xileno, se le añadió la colofonia y se mezcló;
  - Se colocó la mezcla en un frasco de vidrio debidamente cerrado y almacenado.

- Base: 150 g de adhesivo. 20 % de colofonia y 80 % de solución B (20 % de caucho natural disuelto en xileno);
  - En un *beacker* de 500 mL, colocado en baño maría se fundió la colofonia;
  - Se pesó 30 g de colofonia;
  - Se pesó 24 g de caucho natural;
  - Se pesó 96 g de xileno;
  - En un *beacker* de 250 mL se colocaron el caucho natural y el xileno y se agitó hasta lograr una mezcla homogénea;
  - Al *beacker* con la solución de caucho natural y xileno, se le añadió la colofonia y se mezcló;
  - Se colocó la mezcla en un frasco de vidrio debidamente cerrado y almacenado.

### **3.7.2. Método para la determinación del tiempo de secado**

Para el determinar el tiempo de secado, se realizó lo siguiente:

- La aplicación del adhesivo se realizó sobre cartón, en un área de 1 pulgada cuadrada;

- Se aplicó el adhesivo con una espátula en toda la superficie del cartón. Se dejó secar a una temperatura de 21 °C;
- A cada minuto, se tocó la película de adhesivo ligeramente con la punta del dedo limpio. La película se consideró seca cuando no tenía marcas del dedo al tocar la superficie con el adhesivo, en cada observación.

### **3.7.3. Método para la determinación del contenido de sólidos**

Para la medición de sólidos en las formulaciones del adhesivo, se realizaron los siguientes pasos:

- En la balanza de humedad, se pesó 0,25 g del adhesivo;
- Se esperó el tiempo programado para conocer el valor del porcentaje de humedad;
- Con el valor de humedad proporcionado por la balanza, se pudo conocer el porcentaje de sólidos.

### **3.7.4. Método para la determinación de la densidad**

El procedimiento realizado para medir la densidad de las formulaciones fue el siguiente:

- Se taró una probeta de 10 mL;
- Se agregó en la probeta la muestra del adhesivo;

- Se pesó la probeta con la muestra del barniz.

### **3.7.5. Método para la determinación de la viscosidad**

El procedimiento para la determinación de la viscosidad del adhesivo por medio del viscosímetro de Brookfield, se realizó de la siguiente manera:

- Al viscosímetro se colocó el *spindle* No. 4;
- En un *beacker* de 100 mL, se colocó la muestra;
- Se colocó el *spindle* dentro de la muestra, hasta que quedó en el centro de la superficie y se sumergió a la profundidad adecuada;
- Se inició la prueba, con la velocidad adecuada y se anotó la lectura de la escala hasta que se estabilizara;
- Con la velocidad y el número de *spindle* se buscó el factor por el cual debía ser multiplicada la lectura proporcionada por viscosímetro.

### **3.7.6. Método para color del adhesivo**

- Se determinó el color del adhesivo, observando el color de las muestras en sus envases de vidrio.

### **3.7.7. Método para la determinación del ensayo de resistencia a la fractura (esfuerzo) por superposición simple**

Para realizar el ensayo de resistencia por superposición simple, se realizaron los siguientes pasos:

- Se adaptó una máquina de compresión axial con mordazas para sujetar los sustratos que iban a estar unidos por la muestra de adhesivo;
- Se prepararon las muestras a ensayar de acuerdo con las especificaciones de la Norma ASTM D2919-90. La cantidad de adhesivo aplicada en el área de unión fue de 12,5 g;
- Con la muestra sujeta a la máquina, se procedió a tensarla. La velocidad que se aplicó fue de 0,49 pulgadas/minuto;
- Se tomó lectura de las unidades que daba el equipo. Este equipo tenía una ecuación, en la cual al sustituir la lectura tomada, se pudo calcular la fuerza.

### **3.7.8. Método para la determinación del ensayo de pelado en “T”**

Para realizar el ensayo de pelado en “T”, se realizaron los siguientes pasos:

- Se adaptó una máquina de compresión axial con mordazas para sujetar los sustratos que iban a estar unidos por la muestra de adhesivo;

- Se prepararon las muestras a ensayar de acuerdo con las especificaciones de la Norma ASTM D1876-72. La cantidad de adhesivo aplicada en el área de unión fue de 0,25 g por pulgada cuadrada;
- Con la muestra sujeta a la máquina se procedió al ensayo. La velocidad que se aplicó fue de 0,49 pulgadas/minuto;
- Se tomó lectura de las unidades que daba el equipo. Este equipo tenía una ecuación, en el cual al sustituir la lectura tomada, se pudo calcular la fuerza.





## 4. RESULTADOS

### 4.1. Tiempo de secado del adhesivo

A continuación se presentan los resultados para la prueba de tiempo de secado. Están las tablas y gráfica para observar la tendencia de los datos.

Tabla VI. **Determinación del tiempo de secado y tiempo promedio para las seis formulaciones, repetición uno**

Formulación	% Solución Caucho natural/xileno	t1 (min)	t2 (min)	t3 (min)	$\bar{X}$ (min)	$\sigma$ (min)
1	95	22	24	23	23	1,7159
2	90	24	26	27	26	1,5092
3	80	32	33	35	33	2,1794
4	95	19	19	20	19	1,2692
5	80	21	23	24	23	1,1204
6	90	25	25	28	25	1,5000

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla VII. **Determinación del tiempo de secado y tiempo promedio para las seis formulaciones, repetición dos**

Formulación	% Solución Caucho natural/xileno	t1(min)	t2 (min)	t3 (min)	$\bar{X}$ (min)	$\sigma$ (min)
1	95	21	25	24	23	1,7159
2	90	26	27	29	27	1,5092
3	80	33	29	30	31	2,1794
4	95	19	17	18	18	1,2692
5	80	23	21	22	22	1,1204
6	90	27	29	27	28	1,5000

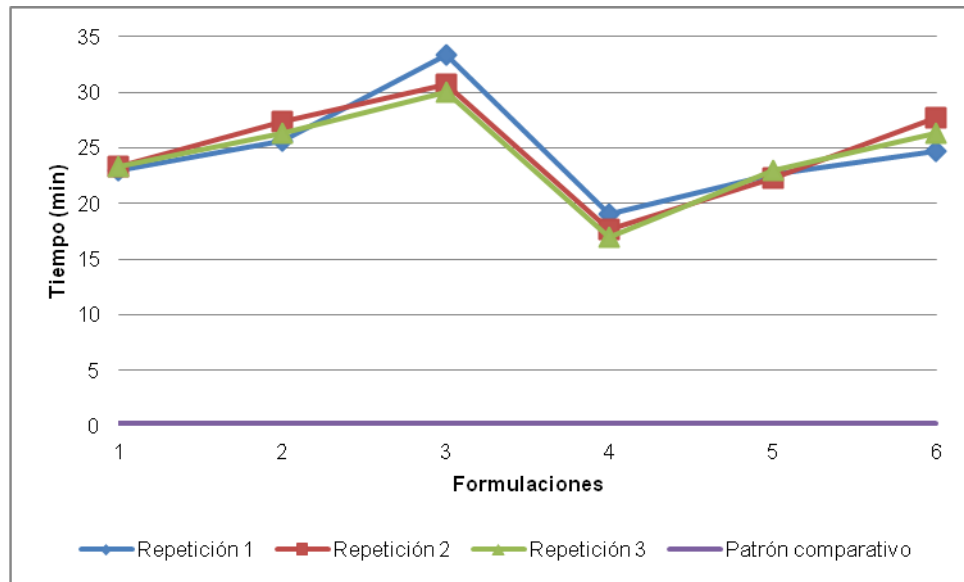
Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla VIII. **Determinación del tiempo de secado y tiempo promedio para las seis formulaciones, repetición tres**

Formulación	% Solución Caucho natural/xileno	t1 (min)	t2 (min)	t3 (min)	$\bar{X}$ (min)	$\sigma$ (min)
1	95	21	23	26	23	1,7159
2	90	25	26	28	26	1,5092
3	80	28	31	31	30	2,1794
4	95	17	18	16	17	1,2692
5	80	24	22	23	23	1,1204
6	90	26	28	25	26	1,5000

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Figura 7. **Relación del tiempo de secado con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones**



Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Densidad del adhesivo

A continuación se presentan los resultados para la prueba de densidad. Están las tablas y gráfica para observar la tendencia de los datos.

Tabla IX. **Determinación de la densidad para las seis formulaciones, repetición uno**

Formulación	Masa (g)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )
	m1	m2	m3	$\bar{X}$			
1	8,93	8,99	8,92	8,95	10,00	0,89	0,4582
2	9,16	8,94	9,00	9,03		0,90	0,0947
3	9,19	9,08	9,09	9,12		0,91	0,0557
4	9,22	9,46	9,30	9,33		0,93	0,0867
5	9,42	9,46	9,60	9,49		0,95	0,0731
6	9,78	9,68	9,70	9,72		0,97	0,1135

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla X. **Determinación de la densidad para las seis formulaciones, repetición dos**

Formulación	Masa (g)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )
	m1	m2	m3	$\bar{X}$			
1	8,97	9,02	8,97	8,99	10,00	0,90	0,4582
2	8,90	9,00	9,15	9,02		0,90	0,0947
3	9,09	9,14	9,07	9,10		0,91	0,0557
4	9,40	9,22	9,36	9,33		0,93	0,0867
5	9,64	9,52	9,56	9,57		0,96	0,0731
6	10,00	10,00	9,82	9,94		0,99	0,1135

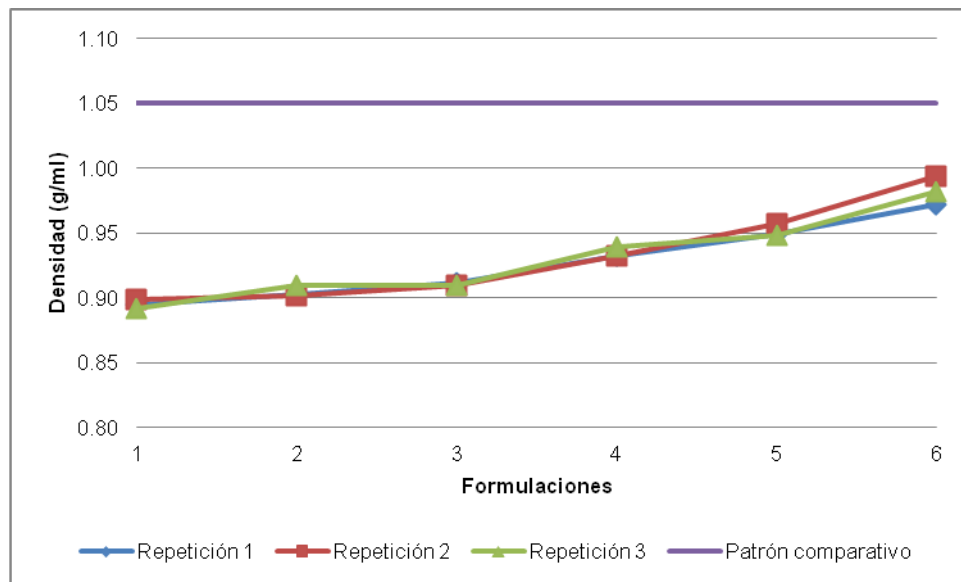
Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla XI. **Determinación de la densidad para las seis formulaciones, repetición tres**

Formulación	Masa (g)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )
	m1	m2	m3	$\bar{X}$			
1	8,86	8,95	8,94	8,92	10,00	0,89	0,4582
2	9,05	9,11	9,13	9,10		0,91	0,0947
3	9,03	9,19	9,07	9,10		0,91	0,0557
4	9,36	9,44	9,38	9,39		0,94	0,0867
5	9,52	9,44	9,50	9,49		0,95	0,0731
6	9,82	9,78	9,86	9,82		0,98	0,1135

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Figura 8. **Relación de la densidad con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones**



Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Contenido de sólidos del adhesivo

A continuación se presentan los resultados para la prueba de contenido de sólidos. Están las tablas y gráfica para observar la tendencia de los datos.

Tabla XII. **Determinación de la medición de sólidos para las seis formulaciones, repetición uno**

Formulación	% Sólidos			$\bar{X}$	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )
	Porcentaje 1	Porcentaje 2	Porcentaje 3				
1	16,57	15,54	16,59	16,23	0,89	0,15	0,5452
2	19,75	20,68	19,54	19,99	0,90	0,18	0,3754
3	31,35	30,45	29,67	30,49	0,91	0,28	0,8622
4	26,72	26,78	26,76	26,75	0,93	0,25	0,5806
5	30,88	30,11	30,91	30,63	0,95	0,29	0,3473
6	39,17	38,55	38,25	38,66	0,97	0,38	0,6913

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla XIII. **Determinación de la medición de sólidos para las seis formulaciones, repetición dos**

Formulación	% Sólidos			$\bar{X}$	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )
	Porcentaje 1	Porcentaje 2	Porcentaje 3				
1	16,66	16,54	16,53	16,58	0,90	0,15	0,5452
2	20,08	19,71	20,55	20,11	0,90	0,18	0,3754
3	31,14	29,26	31,20	30,53	0,91	0,28	0,8622
4	26,85	26,87	25,28	26,33	0,93	0,25	0,5806
5	30,59	30,28	30,04	30,30	0,96	0,29	0,3473
6	38,53	38,85	38,10	38,49	0,99	0,38	0,6913

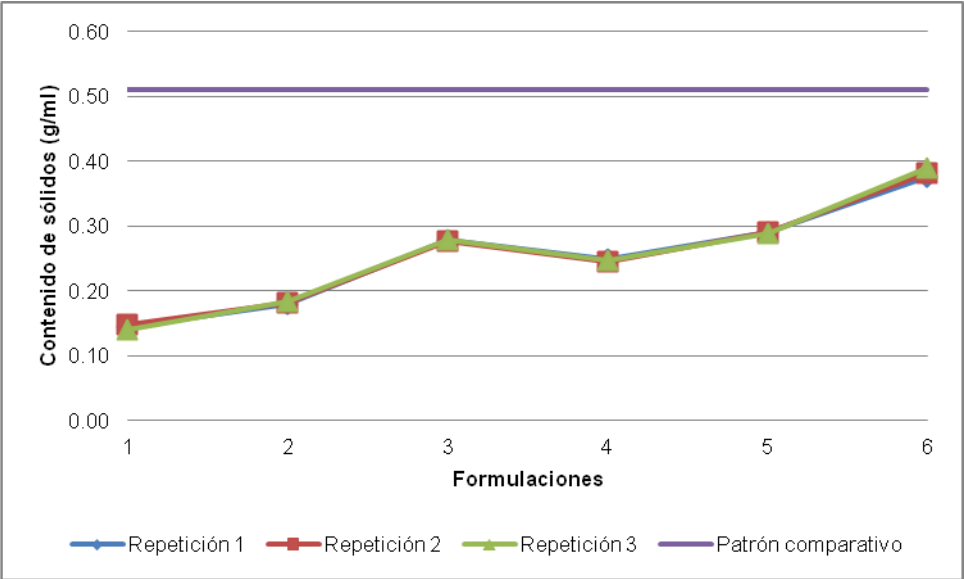
Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla XIV. **Determinación de la medición de sólidos para las seis formulaciones, repetición tres**

Formulación	% Sólidos			$\bar{X}$	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )
	Porcentaje 1	Porcentaje 2	Porcentaje 3				
1	16,10	15,12	15,99	15,74	0,89	0,14	0,5452
2	20,11	20,15	20,14	20,13	0,91	0,18	0,3754
3	31,37	31,20	29,55	30,71	0,91	0,28	0,8622
4	25,64	26,57	26,66	26,29	0,94	0,25	0,5806
5	30,14	30,82	30,56	30,51	0,95	0,29	0,3473
6	39,25	40,03	39,93	39,74	0,98	0,39	0,6913

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Figura 9. **Relación del contenido de sólidos con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones**



Fuente: elaboración propia.



#### 4.4. Viscosidad del adhesivo

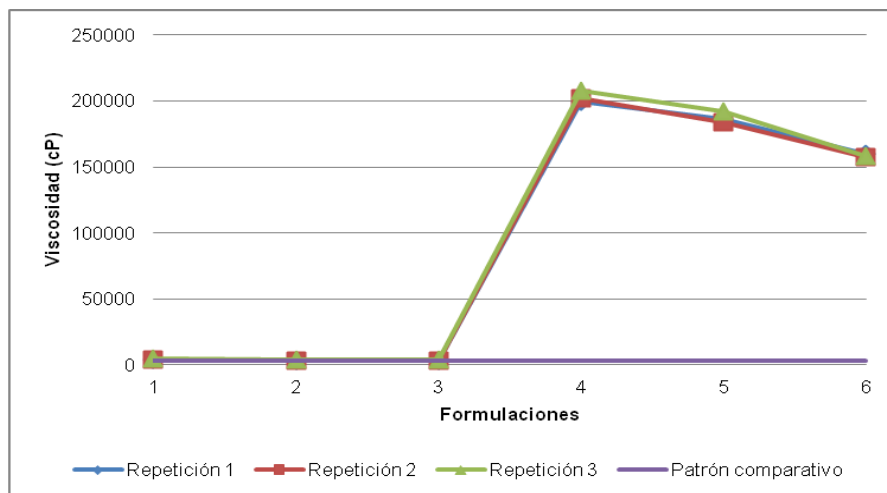
A continuación se presentan los resultados para la prueba de viscosidad. Están la tabla y gráfica para observar la tendencia de los datos.

Tabla XV. **Determinación de la viscosidad de las seis formulaciones, de la repetición uno a la tres**

Formulación	Viscosidad (cP)			$\bar{X}$ (cP)	$\sigma$ (cP)
	Viscosidad 1	Viscosidad 2	Viscosidad 3		
1	4 000	4 000	4 500	4 166,67	288,67
2	3 500	3 500	3 750	3 583,33	144,34
3	3 250	3 500	3 750	3 500,00	250,00
4	200 000	202 000	208 000	203 333,33	4 163,33
5	186 000	184 000	192 000	187 333,33	4 163,33
6	160 000	157 200	158 000	158 400,00	1 442,22

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Relación de la viscosidad con las formulaciones del adhesivo**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Resistencia a la fractura por superposición simple

A continuación se presentan los resultados para la prueba de resistencia a la fractura por superposición simple. Están las tablas y gráfica para observar la tendencia de los datos.

Tabla XVI. **Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, repetición uno**

Formulación	Unidades del anillo			$\bar{X}$	Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (lbf/in <sup>2</sup> )	$\sigma$ (lbf/in <sup>2</sup> )
	U1	U2	U3				
1	0	1	1	0,67	0,25	3,55	0,329
2	1	1	0	0,67	0,25	3,55	0,000
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
4	26	28	25	26,33	3,32	47,16	2.597
5	21	18	19	19,33	2,48	35,27	2,146
6	16	18	16	16,67	2,16	30,74	0,570

Fuente: elaboración propia, basado en muestra e cálculo.

Tabla XVII. **Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, repetición dos**

Formulación	Unidades del anillo			$\bar{X}$	Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (lbf/in <sup>2</sup> )	$\sigma$ (lbf/in <sup>2</sup> )
	U1	U2	U3				
1	1	1	0	0,67	0,25	3,55	0,329
2	1	0	1	0,67	0,25	3,55	0,000
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
4	25	25	23	24,33	3,08	43,76	2.597
5	23	19	22	21,33	2,72	38,67	2,146
6	16	17	16	16,33	2,12	30,17	0,570

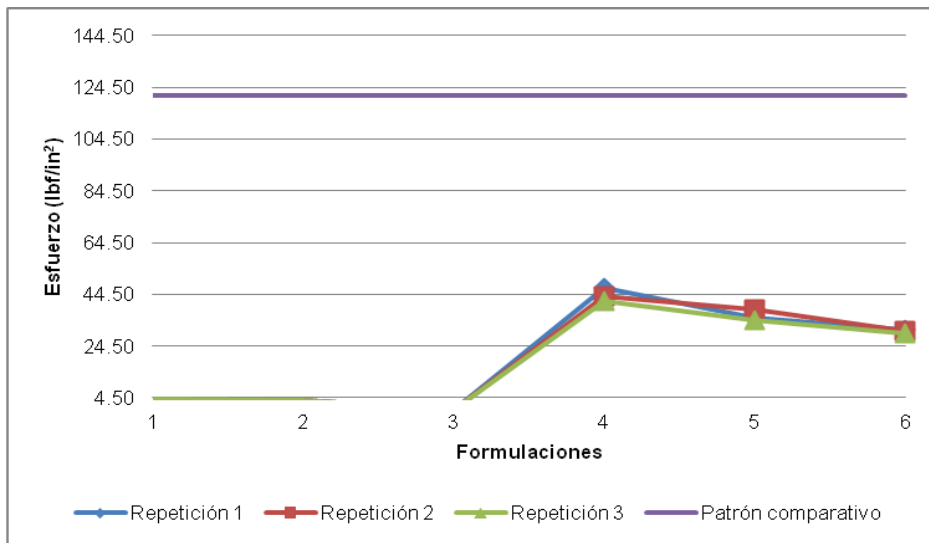
Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Tabla XVIII. **Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, repetición tres**

Formulación	Unidades del anillo			$\bar{X}$	Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (lbf/in <sup>2</sup> )	$\sigma$ (lbf/in <sup>2</sup> )
	U1	U2	U3				
1	1	1	1	1,00	0,29	4,12	0,329
2	0	1	1	0,67	0,25	3,55	0,000
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
4	22	25	23	23,33	2,96	42,06	12.597
5	19	17	21	19,00	2,44	34,70	2,146
6	17	16	15	16,00	2,08	29,60	0,570

Fuente: elaboración propia, basado en muestra de cálculo.

Figura 11. **Relación del ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Ensayo de pelado en “T”

A continuación se presentan los resultados para la prueba de pelado en “T”. Están las tablas y gráfica para observar la tendencia de los datos.

Tabla XIX. **Determinación del ensayo de pelado en “T”, repetición uno**

Formulación	Unidades del anillo			$\bar{X}$	T-Peel (Kgf / 127 cm)	T-Peel (lbf/ 5 in)	$\sigma$ (lbf/ 5 in)
	U1	U2	U3				
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
4	5	4	5	4,67	2,35	5,17	0,2800
5	2	3	3	2,67	1,58	3,47	0,1674
6	2	2	3	2,33	1,45	3,19	0,1616

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Determinación del ensayo de pelado en “T”, repetición dos**

Formulación	Unidades del anillo			$\bar{X}$	T-Peel (Kgf /127 cm)	T-Peel (lbf/ 5 in)	$\sigma$ (lbf/ 5 in)
	U1	U2	U3				
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
4	4	5	4	4,33	2,22	4,89	0,2800
5	3	3	3	3,00	1,70	3,76	0,1674
6	2	3	3	2,67	1,58	3,47	0,1616

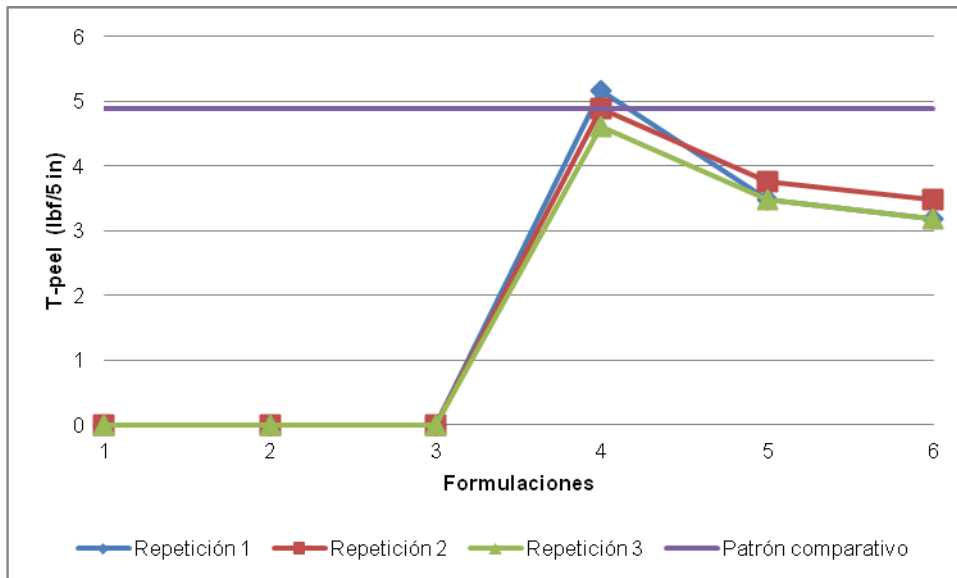
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Determinación del ensayo de pelado en “T”, repetición tres**

Formulación	Unidades del anillo			$\bar{X}$	T-Peel (Kgf /127 cm)	T-Peel (lbf/ 5 in)	$\sigma$ (lbf/ 5 in)
	U1	U2	U3				
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000
4	3	4	5	4,00	2,09	4,61	0,2800
5	3	2	3	2,67	1,58	3,47	0,1674
6	2	3	2	2,33	1,45	3,19	0,1616

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Relación del ensayo de pelado en “T” con las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Color

A continuación se presenta los resultados para la prueba de color. Está una tabla con la formulación y el color que se observó.

Tabla XXII. **Color de las seis formulaciones del adhesivo**

Formulación	Composición		Color
1	5 % colofonia	95 % solución A	Ámbar amarillo
2	10 % colofonia	90 % solución A	Ámbar naranja
3	20 % colofonia	80 % solución A	Ámbar café
4	5 % colofonia	95 % solución B	Ámbar amarillo
5	10 % colofonia	90 % solución B	Ámbar naranja
6	20 % colofonia	80 % solución B	Ámbar café

Fuente: elaboración propia.





## **5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Las formulaciones de adhesivo y los análisis fisicoquímicos se realizaron en un rango de temperatura de 21 a 23 °C. Los análisis fisicomecánicos se realizaron a una temperatura de 27 °C. El patrón comparativo utilizado es una muestra comercial de adhesivo para cartón (anexo 1.22).

### **5.1. Prueba del tiempo de secado**

El análisis de varianza demostró que el tiempo de secado del adhesivo si se ve afectado por las diferentes concentraciones de los componentes de la formulación: solución de caucho y xileno, al 95 % de nivel de confianza.

Con los resultados obtenidos, se determinó que la formulación 4 tiene el menor tiempo de secado, el cual fue de 18 minutos. Esta formulación contiene 5 % de colofonia y 95 % de solución de composición: 20 % de caucho natural disuelto en xileno y es la que presenta aspecto más viscoso, por tener menor cantidad de disolvente en la solución. El patrón comparativo posee un tiempo de secado de 10 segundos, por lo tanto, ninguna de las formulaciones se asemejan a este resultado.

### **5.2. Prueba de densidad**

Por medio del análisis de varianza, se demostró que las mediciones de la densidad realizadas a las formulaciones del adhesivo son diferentes, a un nivel de 95 % de confianza.

El patrón comparativo tiene una densidad de 1,05 gramos por mililitro, por lo tanto, la formulación más cercana es la número 6 (20 % colofonia y 80 % de solución 10 % caucho natural disuelto en xileno), con una densidad de 0,98 gramos por mililitro.

### **5.3. Contenido de sólidos**

El análisis de varianza demostró que el contenido de sólidos en cada formulación si se ve afectado por las diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno, a un nivel de confianza del 95 %.

El valor del contenido de sólidos en el patrón comparativo es de 0,51 gramos por mililitro, siendo el valor más cercano el de la formulación 6, con un valor de 0,39 gramos por mililitro. Este valor representa el de la formulación de mayor cantidad de sólidos presentes, esto se debe a que tiene la mayor cantidad de colofonia y caucho natural en la formulación.

### **5.4. Prueba de viscosidad**

El análisis de varianza demostró que las mediciones de la densidad para las diferentes formulaciones del adhesivo son diferentes, a nivel de confianza de 95 %.

La viscosidad se ve influenciada por la cantidad presente de solución de caucho natural y xileno, y la cantidad de colofonia. Se observó que el agente espesante fue el caucho natural. Las formulaciones que presentaron menor viscosidad fueron las que contenían solución de caucho natural y xileno al 10 % p/p, y las formulaciones con mayor viscosidad fueron las que contenían solución de 20 % caucho natural disuelto en xileno.

El patrón comparativo tiene una viscosidad de 3 000 cP. La formulación 3, 20 % de colofonia y 80 % solución de composición: 10 % caucho natural disuelto en xileno, tiene el valor más cercano al patrón comparativo, con 3 500 cP.

### **5.5. Color**

El color varió de acuerdo a la cantidad de colofonia. Las formulaciones 1 y 4 presentaron color ámbar amarillo, estos contenían el 5 % de colofonia. Las formulaciones 2 y 5 fueron de color ámbar naranja, contenían el 10 % de colofonia. Y las formulaciones 3 y 6 fueron de color ámbar café, contenían el 20 % de colofonia.

### **5.6. Ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple**

Esta prueba se realizó en una máquina de compresión axial, adaptada con mordazas para sostener las probetas, a una temperatura de 27 °C. Las dimensiones de las probetas se basaron en la Norma ASTM D2919-90. Las probetas se hicieron con cartón chip calibre 80. Este ensayo se realizó para conocer el esfuerzo máximo al que puede ser sometido el adhesivo.

Según el análisis de varianza, se demostró que la resistencia a la fractura se ve afectado por las diferentes concentraciones que componen el adhesivo, a un nivel de confianza del 95 %.

El dato del patrón comparativo para este ensayo fue de 121,36 libras fuerza por pulgada cuadrada. En este caso, al finalizar el ensayo, se observó que el fallo se dio en el sustrato, es decir, hubo ruptura del sustrato antes que la unión adhesiva.

En las formulaciones, el dato mayor obtenido fue el de la formulación 4 de 5 % colofonia y 95 % solución de composición: 20 % de caucho natural disuelto en xileno, que fue de 44,33 libras fuerza por pulgada cuadrada. En este caso, al finalizar el ensayo, se observó un fallo cohesivo, es decir, se dio una ruptura en la unión adhesiva.

Los factores que influyeron en los datos obtenidos de las diferentes formulaciones fueron la unión que se dio entre el adhesivo en la superficie, la rugosidad y humectabilidad del sustrato (cartón), influyendo en la zona de contacto entre los materiales.

#### **5.7. Ensayo de pelado en “T”**

El ensayo de pelado en “T” realizó en una máquina de compresión axial, adaptada con mordazas para sostener las probetas. Las dimensiones de las probetas se basaron en la Norma ASTM D 1876-72. Las probetas se hicieron con cartón chip calibre 80. Este ensayo se realizó para conocer el esfuerzo al tratar de despegar los sustratos a lo largo del cartón. Se llevó a cabo a una temperatura de 27 °C.

Según el análisis de varianza, se demostró que el ensayo de pelado en “T” a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno en las formulaciones de adhesivo, se ve afectado, a un nivel de confianza del 95 %.

El dato del patrón comparativo fue 4,89 libras fuerza a lo largo de 5 pulgadas. Al finalizar el ensayo, se observó que el fallo se dio en el sustrato.

De las pruebas realizadas, el dato mayor obtenido fue el de la formulación 4, de 5 % colofonia y 95 % solución de composición: 20 % caucho natural disuelto en xileno, que fue de 4,89 libras fuerza a lo largo de 5 pulgadas. En este caso, al finalizar el ensayo, se observó ruptura en toda la unión adhesiva.

Al igual que en el ensayo anterior, los factores que influyeron en los datos obtenidos de las diferentes formulaciones fueron: la unión que se dio entre el adhesivo en la superficie, la rugosidad y humectabilidad del sustrato (cartón), influyendo en la zona de contacto entre los materiales.



## CONCLUSIONES

1. La prueba del tiempo de secado determinó que la formulación que contiene 5 % de colofonia y 95 % de solución B (de composición 20 % caucho natural disuelto en xileno), tiene menor tiempo de secado, con 18 minutos.
2. La densidad de la formulación cercana al patrón comparativo es de 0,98 gramos por mililitro, de composición 20 % colofonia y 80 % solución B (de composición 20 % caucho natural disuelto en xileno).
3. La formulación con mayor contenido de sólidos es la que contiene 20 % colofonia y 80 % solución B (de composición 20 % caucho natural disuelto en xileno), con un valor de 0,39 gramos por mililitro.
4. Se determinó con la prueba de viscosidad que la formulación con el mejor valor de viscosidad para una mejor aplicación en el sustrato es la que contiene 20 % de colofonia y 80 % de solución A (de composición 10 % caucho natural disuelto en xileno).
5. El color varía de acuerdo a la cantidad de colofonia en la formulación, de amarillo ámbar para las formulaciones con 5 %, naranja ámbar para las formulaciones con 10 % y café ámbar para las formulaciones con 20 % de colofonia.

6. En el ensayo de resistencia a la fractura, la formulación que soportó mayor esfuerzo fue la formulación de 5 % colofonia y 95 % de solución B (de composición 20 % caucho natural disuelto en xileno), con un valor de 44,33 lbf/in<sup>2</sup>.
7. En el ensayo de pelado en "T", la formulación que tuvo el mayor valor de esfuerzo fue la formulación de 5 % colofonia y 95 % de solución B (de composición 20 % caucho natural disuelto en xileno), con un valor de 4,89 lbf/5 in.



## RECOMENDACIONES

1. Elaborar estudios que aumenten la calidad de las propiedades adhesivas del adhesivo.
2. Efectuar ensayos en diferentes materiales, con las formulaciones elaboradas en posteriores investigaciones.
3. Ejecutar estudios de otros disolventes y aditivos que se puedan utilizar para mejorar las características del adhesivo.
4. Realizar un estudio que se enfoque en reducir el tiempo de secado del adhesivo.
5. Promover la investigación en otras aplicaciones que utilicen la colofonia, como materia prima.
6. Se debe usar equipo de protección personal (EPP) adecuado, al manipular solventes y al formular el adhesivo.
7. Los materiales de desecho producidos se deben recolectar en un recipiente identificado, y luego enviarlo a una empresa para que realice el tratamiento adecuado.

8. Los materiales de desecho producidos se deben recolectar en un recipiente identificado, y luego enviarlo a una empresa para que realice el tratamiento adecuado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adhesivos Industriales. *Terminología utilizada en adhesivos* [en línea]. <[http://www.adhesivosindustriales.com/conceptos\\_terminologia.php](http://www.adhesivosindustriales.com/conceptos_terminologia.php)>. [Consulta: agosto 2012].
2. AJÁ MORATAYA, Roderico Aníbal. *Destilación de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl) extraída en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterización de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 150 p.
3. American Society for Testing and Materials. *ASTM D 1084 – 88. Standard Test Method for Viscosity of Adhesives*. Pennsylvania: ASTM, 1990. 468 p.
4. \_\_\_\_\_. *ASTM D 1876 – 72. Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives*. Pennsylvania: ASTM, 1990. 468 p.
5. \_\_\_\_\_. *ASTM D 2919 – 90. Standard Test Method for Determining Durability of Adhesive Joints Stressed in Shear by Tension Loading*. Pennsylvania: ASTM, 1990. 468 p.
6. CALVO CARBONELL, Jordi. *Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología*. 2009. 392 p

7. Empresa El Semillero. *Pino oocarpa* [en línea]. [http://elsemillero.net/nuevo/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=226](http://elsemillero.net/nuevo/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=226)>. [Consulta: julio 2012].
8. GARCÍA QUIROA, Geraldina Elizabeth. *Formulación y caracterización química del barniz fluorado para uso dental a base de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex schltl), variando concentraciones de fluoruro de sodio y etanol, a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 189 p.
9. GONZÁLEZ ALMENGOR, Ana Lucrecia. *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltl) a nivel laboratorio, que cumpla con las especificaciones para la formulación de barnices fluorados*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 145 p.
10. INTERQUIM. *Conceptos técnicos* [en línea]. <<http://www.interquim.i8.com/IQconc.htm>>. [Consulta: agosto 2012].
11. LIESA, Francisco; BILURBINA, Luis. *Adhesivos industriales*. Barcelona, España: MARCOMBO, 1990. 128 p.
12. LOS ADHESIVOS. *Adhesivos* [en línea]. <<http://www.scribd.com/doc/63266398/Adhesivos>>. [Consulta: agosto 2012].

13. \_\_\_\_\_. *La web de los adhesivos* [en línea]. <<http://www.losadhesivos.com/>>. [Consulta: junio 2012].
14. LOPEZ RUCUCH, Rigoberto. *Comparación de dos métodos de resinación en Pinus oocarpa Schiede, P. Montezumae Lambert y P. pseudostrobus Lindl., en la cuenca alta del río Chixoy, Guatemala* [en línea]. <<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0558E/A0558E.PDF>>. [Consulta: agosto 2012]
15. MADRID, Mario. *Tecnología de la adhesión* [en línea]. <[https://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curs\\_o\\_de\\_adhesivos.pdf](https://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curs_o_de_adhesivos.pdf)>. [Consulta: junio 2012].
16. MENDRULANDIA. *Aceites vegetales y su uso en los jabones*. [en línea]. <<http://www.mendrulandia.net/?id=13>>. [Consulta: agosto 2012].
17. MONTGOMERY, Douglas. *Diseño y análisis de experimentos*. 2a. ed. México: Limusa Wiley, 2007. 686 p.
18. REICHE JUAREZ, Ana Roxanda. *Principios y recomendaciones para la aplicación de adhesivos de poliuretano base solvente sobre suelas sintéticas, utilizadas en la fabricación de calzado guatemalteco*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996. 44 p.
19. United Paper Mills. *El libro de los adhesivos* [en línea]. <[http://www.upmraflatac.com/europe/spa/images/52\\_783.pdf](http://www.upmraflatac.com/europe/spa/images/52_783.pdf)>. [Consulta: mayo 2012].

20. VILLALBA FARNES, Rodolfo. *Desarrollo de un producto adhesivo para una aplicación específica en la industria papelera que utiliza como base una materia prima nacional: Colofonia. para la obtención y caracterización de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 70 p.
  
21. WITTCOFF, Harol A.; REUBEN, Bryan G. *Productos químicos orgánicos industriales.* Vol. 2. México: Limusa, 2008. 662 p.

## **APÉNDICES**

## Apéndice 1. Cronograma

Actividad	Mes I				Mes II				Mes III				Mes IV				Mes V				Mes VI						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Realización del protocolo																											
Presentación, Corrección y aprobación del protocolo																											
Obtención de la Colofonia (LIEXVE)																											
Formulación del adhesivo (LIEXVE)																											
Análisis Físicoquímicos (LIEXVE – LAFIQ)																											
Pruebas mecánicas (Sección de Mecánica de Suelos)																											
Análisis de datos																											
Interpretación y conclusiones																											
Presentación y aprobación final																											

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 2. **Costos para la obtención de la materia prima**

Cantidad	Descripción	Costo (Quetzales)
140 Km	Combustible a Q.30,00/galón	150,00
1 kg	Colofonia	79,60
1 gal	Xileno	80,00
1 Kg	Caucho natural	12,75
	<b>Subtotal</b>	<b>322.35</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Costos para la cristalería e instrumentos de laboratorio**

Cantidad	Cristalería	Descripción	Costo (Quetzales)
9	Beackers	Vidrio 500 mL	450,00
3	Varillas de agitación	Vidrio	30,90
1	Probetas	Vidrio 100 mL	254,00
1	Pipetas	Vidrio 25 mL	44,50
1	Espátula	Mango de madera	62,00
1	Termómetro	Mercurio	150,00
1	Embudo	Vidrio	40,00
18	Frascos con tapa metálica	300 mL	80,25
	<b>Subtotal</b>		<b>1 111,65</b>

Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. Costos para el equipo

Cantidad	Equipo	Descripción	Costo por depreciación durante 6 meses de uso (Quetzales)
1	Plancha de calentamiento y agitación	Marca: CORNING Serie: 420504195081	1 945,58
1	Balanza analítica	Marca: BOECO Modelo: BBL31	1 839,50
1	Campana de extracción	Marca: SEPROMA	3 675,70
1	Balanza de humedad	Marca: BOECO Modelo: SM001	1 204,82
1	Potenciómetro	Marca: HANNA Instruments	145,82
<b>Subtotal</b>			<b>8 811,42</b>

Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 5. Costos varios

Cantidad	Materiales	Costo (Quetzales)
2	Cartón Chip	18,00
1000 hojas	Papel para elaborar informe	67,40
1	Marcador	12,50
1	<i>Maskingtape</i>	6,75
---	Energía eléctrica	250,00
18	Frascos de vidrio	70,00
<b>Subtotal</b>		<b>424,65</b>

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 6. Presupuesto

Descripción	Sub-totales (Quetzales)
Costos para la obtención de la materia prima y reactivos	322,35
Costos para la cristalería	1 111,65
Costos para el equipo	8 811,42
Costos varios	424,65
<b>Total</b>	<b>10 670.07</b>

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 7. Muestra de colofonia obtenida



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

Apéndice 8. **Formulaciones del 1 al 3**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE).

Apéndice 9. **Formulaciones del 4 al 6**



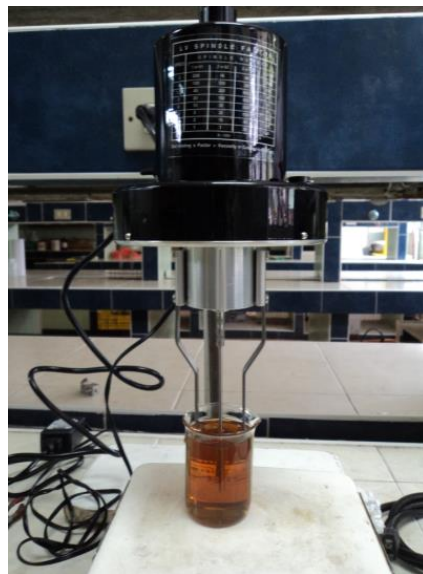
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE).

## Apéndice 10. Balanza de humedad



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

## Apéndice 11. Viscosímetro de Brookfield



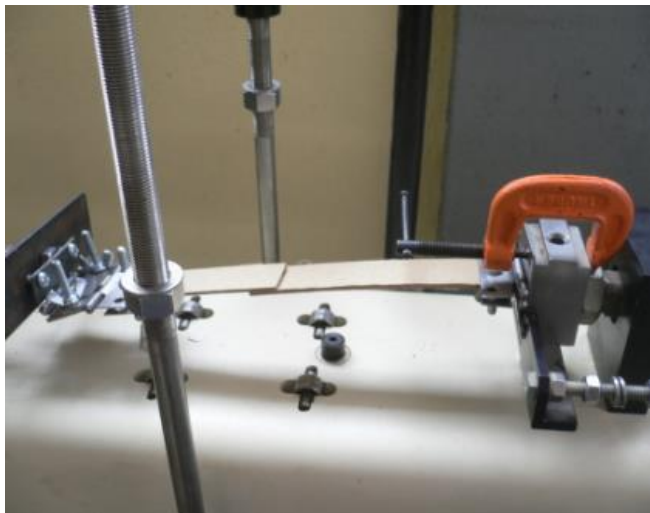
Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímicos (LAFIQ).

Apéndice 12. **Máquina de compresión axial**



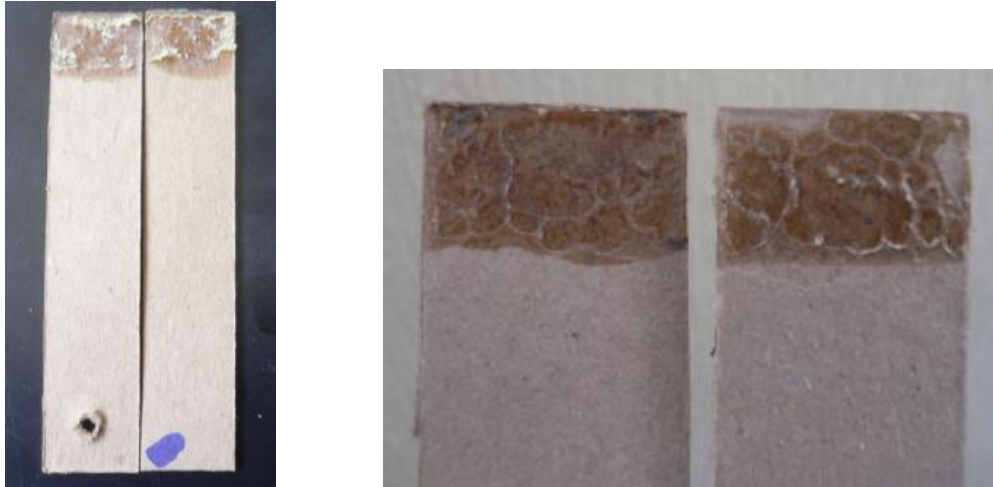
Fuente: Sección de Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 13. **Ensayo de resistencia a la fractura (esfuerzo), por superposición simple**



Fuente: Sección de Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 14. **Probetas al final del ensayo de resistencia a la fractura (esfuerzo), por superposición simple**



Fuente: Sección de Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 15. **Ensayo de pelado en “T”**



Fuente: Sección de Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 16. **Probetas al final del Ensayo de pelado en “T”**



Fuente: Sección de Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería.



## Apéndice 17. Datos originales

Los datos originales se obtuvieron durante la caracterización del adhesivo.

- **Datos para la determinación del tiempo de secado**

Para el tiempo de secado del adhesivo, se realizó en un área de 1 pulgada cuadrada del cartón. Se aplicó 0,25 g de adhesivo sobre la superficie y se dejó secar. Se realizó a una temperatura de 21 °C.

### Apéndice 17.1 Tiempo de secado de las formulaciones del adhesivo, repetición uno

Formulación	Tiempo (min)		
	t1	t2	t3
1	22	24	23
2	24	26	27
3	32	33	35
4	19	19	20
5	21	23	24
6	25	25	28

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 17.2      Tiempo de secado de las formulaciones del adhesivo,  
repetición dos**

Formulación	Tiempo (min)		
	t1	t2	t3
1	21	25	24
2	26	27	29
3	33	29	30
4	19	17	18
5	23	21	22
6	27	29	27

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 17.3      Tiempo de secado de las formulaciones del adhesivo,  
repetición tres**

Formulación	Tiempo (min)		
	t1	t2	t3
1	21	25	24
2	26	27	29
3	33	29	30
4	19	17	18
5	23	21	22
6	27	29	27

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.4 **Tiempo de secado de las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones**

Formulación	Repetición	Tiempo (min)
1	1	23
	2	23
	3	23
2	1	26
	2	27
	3	26
3	1	33
	2	31
	3	30
4	1	19
	2	18
	3	17
5	1	23
	2	22
	3	23
6	1	25
	2	28
	3	26

Fuente: elaboración propia.

- **Datos para la determinación de la densidad**

La densidad se obtuvo midiendo la masa de adhesivo contenida en una probeta con volumen constante. Se realizó a una temperatura de 21 °C.

**Apéndice 17.5 Medición de la densidad de las formulaciones del adhesivo, repetición uno**

Formulación	Masa (g)			Promedio	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
	m1	m2	m3			
1	8,93	8,99	8,92	8,95	10,00	0,89
2	9,16	8,94	9,00	9,03		0,90
3	9,19	9,08	9,09	9,12		0,91
4	9,22	9,46	9,30	9,33		0,93
5	9,42	9,46	9,60	9,49		0,95
6	9,78	9,68	9,70	9,72		0,97

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 17.6 Medición de la densidad de las formulaciones del adhesivo, repetición dos**

Formulación	Masa (g)			Promedio	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
	m1	m2	m3			
1	8,97	9,02	8,97	8,99	10,00	0,90
2	8,90	9,00	9,15	9,02		0,90
3	9,09	9,14	9,07	9,10		0,91
4	9,40	9,22	9,36	9,33		0,93
5	9,64	9,52	9,56	9,57		0,96
6	10,00	10,00	9,82	9,94		0,99

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.7 **Medición de la densidad de las formulaciones del adhesivo, repetición tres**

Formulación	Masa (g)			Promedio	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
	m1	m2	m3			
1	8,86	8,95	8,94	8,92	10,00	0,89
2	9,05	9,11	9,13	9,10		0,91
3	9,03	9,19	9,07	9,10		0,91
4	9,36	9,44	9,38	9,39		0,94
5	9,52	9,44	9,50	9,49		0,95
6	9,82	9,78	9,86	9,82		0,98

Fuente: elaboración propia.

- **Determinación de medición de sólidos**

Para obtener la cantidad de sólidos en la muestra, se utilizaron los datos obtenidos al utilizar la balanza de humedad con las muestras de adhesivo.

Apéndice 17.8 **Medición de sólidos de las formulaciones, repetición uno**

Formulación	% Humedad			% Sólidos			Promedio	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )
	H1	H2	H3	P1	P2	P3			
1	83,43	84,46	83,41	16,57	15,54	16,59	16,23	0,89	0,15
2	80,25	79,32	80,46	19,75	20,68	19,54	19,99	0,90	0,18
3	68,65	69,55	70,33	31,35	30,45	29,67	30,49	0,91	0,28
4	73,28	73,22	73,24	26,72	26,78	26,76	26,75	0,93	0,25
5	69,12	69,89	69,09	30,88	30,11	30,91	30,63	0,95	0,29
6	60,83	61,45	61,75	39,17	38,55	38,25	38,66	0,97	0,38

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.9 **Medición de sólidos de las formulaciones, repetición dos**

Formulación	% Humedad			% Sólidos			Promedio	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )
	H1	H2	H3	P1	P2	P3			
1	83,34	83,46	83,47	16,66	16,54	16,53	16,58	0,90	0,15
2	79,92	80,29	79,45	20,08	19,71	20,55	20,11	0,90	0,18
3	68,86	70,74	68,80	31,14	29,26	31,20	30,53	0,91	0,28
4	73,15	73,13	74,72	26,85	26,87	25,28	26,33	0,93	0,25
5	69,41	69,72	69,96	30,59	30,28	30,04	30,30	0,96	0,29
6	61,47	61,15	61,90	38,53	38,85	38,10	38,49	0,99	0,38

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.10 **Medición de sólidos de las formulaciones, repetición tres**

Formulación	% Humedad			% Sólidos			Promedio	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )
	H1	H2	H3	P1	P2	P3			
1	83,90	84,88	84,01	16,10	15,12	15,99	15,74	0,89	0,14
2	79,89	79,85	79,86	20,11	20,15	20,14	20,13	0,91	0,18
3	68,63	68,80	70,45	31,37	31,20	29,55	30,71	0,91	0,28
4	74,36	73,43	73,34	25,64	26,57	26,66	26,29	0,94	0,25
5	69,86	69,18	69,44	30,14	30,82	30,56	30,51	0,95	0,29
6	60,75	59,97	60,07	39,25	40,03	39,93	39,74	0,98	0,39

Fuente: elaboración propia.

- **Determinación de la viscosidad**

Apéndice 17.11 **Medición de la viscosidad de las formulaciones del adhesivo, de la repetición uno a la tres**

Formulación	Viscosidad (cP)		
	Viscosidad 1	Viscosidad 2	Viscosidad 3
1	4 000	4 000	4 500
2	3 500	3 500	3 750
3	3 250	3 500	3 750
4	200 000	202 000	208 000
5	186 000	184 000	192 000
6	160 000	157 200	158 000

Fuente: elaboración propia.

- **Datos para la determinación de la Resistencia a la fractura (esfuerzo), por superposición simple**

Apéndice 17.12 **Resistencia a la fractura (esfuerzo) por superposición simple, repetición uno**

Formulación	Unidades del anillo			Promedio	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (lbf/in <sup>2</sup> )
	U1	U2	U3			
1	0	1	1	0,67	0,25	3,55
2	1	1	0	0,67	0,25	3,55
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	26	28	25	26,33	3,32	47,16
5	21	18	19	19,33	2,48	35,27
6	16	18	16	16,67	2,16	30,74

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.13 **Resistencia a la fractura (esfuerzo) por superposición simple, repetición dos**

Formulación	Unidades del anillo			Promedio	Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (lbf/in <sup>2</sup> )
	U1	U2	U3			
1	1	1	0	0,67	0,25	3,55
2	1	0	1	0,67	0,25	3,55
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	25	25	23	24,33	3,08	43,76
5	23	19	22	21,33	2,72	38,67
6	16	17	16	16,33	2,12	30,17

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.14 **Resistencia a la fractura (esfuerzo) por superposición simple, repetición tres**

Formulación	Unidades del anillo			Promedio	Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (lbf/in <sup>2</sup> )
	U1	U2	U3			
1	1	1	1	1,00	0,29	4,12
2	0	1	1	0,67	0,25	3,55
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	22	25	23	23,33	2,96	42,06
5	19	17	21	19,00	2,44	34,70
6	17	16	15	16,00	2,08	29,60

Fuente: elaboración propia.



- **Datos para la determinación del ensayo de pelado en “T”**

Este ensayo se realizó a temperatura de 27 °C.

**Apéndice 17.15 Ensayo de pelado en “T”, repetición uno**

Formulación	Unidades del anillo			Promedio	T-Peel (Kgf / 127 cm)	T-Peel (lbf/ 5 in)
	U1	U2	U3			
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	5	4	5	4,67	2,35	5,17
5	2	3	3	2,67	1,58	3,47
6	2	2	3	2,33	1,45	3,19

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 17.16 Ensayo de pelado en “T”, repetición dos**

Formulación	Unidades del anillo			Promedio	T-Peel (Kgf / 127 cm)	T-Peel (lbf/ 5 in)
	U1	U2	U3			
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	4	5	4	4,33	2,22	4,89
5	3	3	3	3,00	1,70	3,76
6	2	3	3	2,67	1,58	3,47

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17.17 **Ensayo de pelado en “T”, repetición tres**

Formulación	Unidades del anillo			Promedio	T-Peel (Kgf / 127 cm)	T-Peel (lbf/ 5 in)
	U1	U2	U3			
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00
3	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	3	4	5	4,00	2,09	4,61
5	3	2	3	2,67	1,58	3,47
6	2	3	2	2,33	1,45	3,19

Fuente: elaboración propia.

- Color**

Se observó el color de las diferentes formulaciones del adhesivo en sus envases.

Apéndice 17.18 **Color de las seis formulaciones del adhesivo**

Formulación	Composición		Color
1	5 % colofonia	95% solución A	Ámbar amarillo
2	10% colofonia	90% solución A	Ámbar naranja
3	20 % colofonia	80% solución A	Ámbar café
4	5 % colofonia	95% solución B	Ámbar amarillo
5	10% colofonia	90% solución B	Ámbar naranja
6	20 % colofonia	80% solución B	Ámbar café

Fuente: elaboración propia.

- Datos del patrón comparativo

Apéndice 17.19 **Datos de la muestra comercial**

<b>Apariencia</b>	Líquido lechoso
<b>Viscosidad</b>	3000 cP
<b>Densidad</b>	1.05 g/cm <sup>3</sup>
<b>Sólidos por peso</b>	0.51 g/cm <sup>3</sup>
<b>Tiempo de secado</b>	10 segundos
<b>Esfuerzo por superposición simple</b>	121,36 lbf/pulgada <sup>2</sup>
<b>Pelado en "T"</b>	4.89 lbf/5 pulgadas (desgarre total del sustrato)

Fuente: elaboración propia.



## Apéndice 18. Muestra de cálculo

En la muestra de cálculo se indican las fórmulas utilizadas que se utilizan para procesar los datos originales, los cuales fueron obtenidos en el laboratorio al realizar las pruebas a las formulaciones del adhesivo.

- **Determinación de la densidad**

Para la determinación de la densidad de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\rho$  = densidad de la muestra ( $\text{g/cm}^3$ )

$m$  = masa de la muestra (g)

$N$  = volumen de la muestra ( $\text{cm}^3$ )

Ejemplo:

Para la formulación uno, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{8,95 \text{ g}}{10 \text{ cm}^3}$$
$$\rho = 0,89 \text{ g/cm}^3$$

De la misma forma, se determinaron para las otras formulaciones y repeticiones. Estos datos se encuentran en la sección de datos calculados.

- **Determinación del contenido de sólidos**

Para la determinación del contenido de sólidos de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$CS = \frac{(100 - \%H)}{100} \times \rho \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

CS = contenido de sólidos en la muestra ( $\text{g/cm}^3$ )

%H = humedad de la muestra obtenida de la balanza de humedad (-)

$\rho$  = densidad de la muestra ( $\text{g/cm}^3$ )

Ejemplo:

Para la formulación uno, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$CS = \frac{(100 - 83,76)}{100} \times 0,895 \text{ g/cm}^3$$
$$CS = 0,15 \text{ g/cm}^3$$

De la misma forma, se determinaron para las otras formulaciones y repeticiones. Estos datos se encuentran en la sección de datos calculados.

- **Determinación de la viscosidad**

Para la determinación de la viscosidad de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\mu = U \times factor \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad dinámica (cP)

U = unidad de lectura del viscosímetro (cP)

factor = factor del spindle y de la velocidad que se utiliza (-)

Ejemplo:

Para la formulación uno, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$\mu = 8,00 \times 500$$

$$\mu = 4000 \text{ cP}$$

De la misma forma, se determinaron para las otras formulaciones y repeticiones. Estos datos se encuentran en la sección de datos calculados.

- **Determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple**

Para la determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, se realizó el siguiente procedimiento:

- El equipo donde se realizó el ensayo, tiene una ecuación en la cual se sustituyó la lectura dada por el mismo, la cual es la siguiente:

$$y = 0,3853x + 0,5482 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

y = fuerza (kgf)

x = unidad de lectura del equipo (kgf)

Ejemplo:

Para la formulación uno, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$y = 0,3853(0,67) + 0,5482$$

$$y = 0,81 \text{ kgf}$$

- Luego se calculó el esfuerzo mediante la ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \times fc \quad (\text{Ecuación 5})$$



Donde:

$\sigma$  = esfuerzo (lbf/in<sup>2</sup>)

F = fuerza obtenida de la Ecuación 4 (kgf)

A = área en la que se aplica la fuerza (in<sup>2</sup>)

fc = factor de conversión de kgf a lbf

Ejemplo:

Para la formulación uno, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{0,81 \text{ kgf}}{0,5 \text{ in}^2} \times 2.205 \frac{\text{lbf}}{\text{kgf}}$$
$$\sigma = 3,55 \text{ lbf/in}^2$$

De la misma forma, se determinaron para las otras formulaciones y repeticiones. Estos datos se encuentran en la sección de datos calculados.

- **Determinación del pelado en “T”**

Para la determinación de la resistencia a la fractura por superposición simple, se realizó el siguiente procedimiento:

Se utilizó la Ecuación 4, para conocer la fuerza.

Ejemplo:

Para la formulación tres, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$y = 0,3853(4,67) + 0,5482$$

$$y = 2,35 \text{ kgf}$$

Luego se utilizó el factor de conversión de kgf a lbf con el valor obtenido anteriormente, de la siguiente manera:

$$F \times fc \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde:

F = fuerza obtenida de la Ecuación 4 (kgf)

fc= factor de conversión de kgf a lbf (-)

Ejemplo:

Para la formulación tres, repetición uno se realizó de la siguiente manera:

$$2,36 \text{ kgf} \times 2.205 \frac{\text{lbf}}{\text{kgf}} = 5,17 \text{ lbf}$$

De la misma forma, se determinaron para las otras formulaciones y repeticiones. Estos datos se encuentran en la sección de datos calculados.

- **Análisis de varianza**

Hipótesis nula

Las propiedades fisicoquímicas del adhesivo obtenido, no se ven afectadas por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Las propiedades fisicomecánicas del adhesivo obtenido, no se ven afectadas por las diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno.

Hipótesis alternativa

Las propiedades fisicoquímicas del adhesivo obtenido, se ven afectadas por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Las propiedades fisicomecánicas del adhesivo obtenido, se ven afectadas por las diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno.

Ejemplo:

En el caso del análisis del tiempo de secado, el análisis de varianza fue el siguiente.

Hipótesis nula

El tiempo de secado del adhesivo obtenido, no se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Hipótesis alternativa

El tiempo de secado del adhesivo obtenido, se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

Grados de libertad

$$Gl = k - 1$$
$$Gl = 9 - 1 = 8$$

Donde:

Gl = Grados de libertad

k = Número de muestras

Gran media ( $\bar{X}$ )

La gran media de todos los elementos de todas las muestras se calcula con la siguiente ecuación.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n1} X_i + \sum_{i=1}^{n2} X_i + \dots + \sum_{i=1}^k X_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$X_i$  = Elementos

Estadístico crítico ( $F_c$ )

Con 8 grados de libertad, media cuadrática 181,99 en el numerador y 2,52 en el denominador, al 0,05 de significancia,  $F_c = 72,26$ .

**Apéndice 18.1 Resumen del cálculo de la varianza univariante del tiempo de secado del adhesivo a diferentes oncentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	909.944	5	181.989	72.260	0,000
Error	120.889	48	2.51851852		
Total corregida	1030.833	53			

Fuente: elaboración propia.

**Resultado**

Basado en medias observadas, se determina a que se rechaza  $H_0$ . Con un nivel de significancia menor a  $\alpha = 0,05$ .

**Conclusión**

El tiempo de secado del adhesivo obtenido, se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Los resultados obtenidos para los otros análisis se encuentran en la sección de análisis estadístico.



El análisis estadístico de los datos obtenidos del tiempo de secado, densidad, contenido de sólidos, pH, viscosidad y los ensayos físicos realizados se llevó a cabo por medio de un análisis de varianza, por medio de un diseño de bloques.

- **Análisis del tiempo de secado**

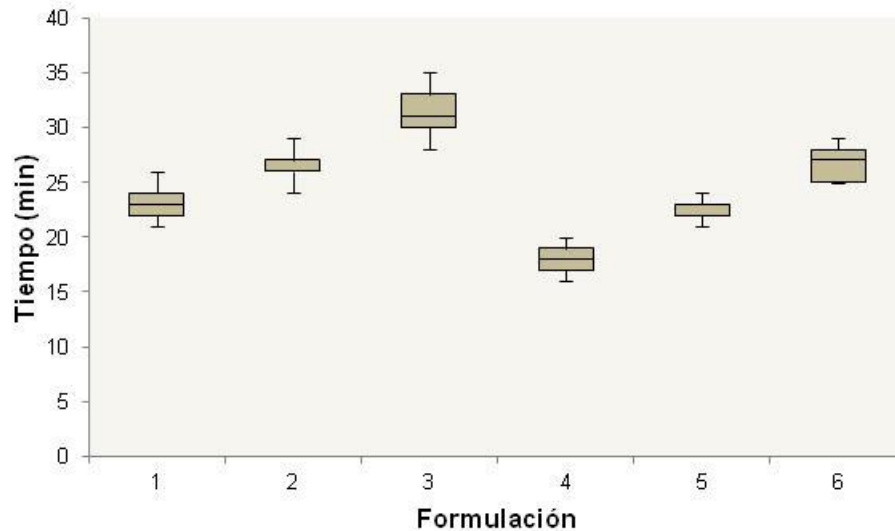
Hipótesis nula

El tiempo de secado del adhesivo obtenido, no se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Hipótesis alternativa

El tiempo de secado del adhesivo obtenido, se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Apéndice 19.1 **Diagrama de cajas del tiempo de secado del adhesivo, según formulación**



Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.2 **Resumen del cálculo de la varianza del tiempo de secado del adhesivo diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	909.944	5	181.989	72.260	0,000
Error	120.889	48	2.5185		
Total corregida	1030.833	53			

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.



Apéndice 19.3      **Resumen de los subconjuntos homogéneos del tiempo de secado del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Formulación	N	Subconjunto para $\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
4	9	18,111			
5	9		22,556		
1	9		23,375		
2	9			26,444	
6	9			26,667	
3	9				31,333
<b>Sig.</b>		1,000	0,0895	0,003	1,000

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

Conclusión

El tiempo de secado del adhesivo obtenido a diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- **Análisis de densidad**

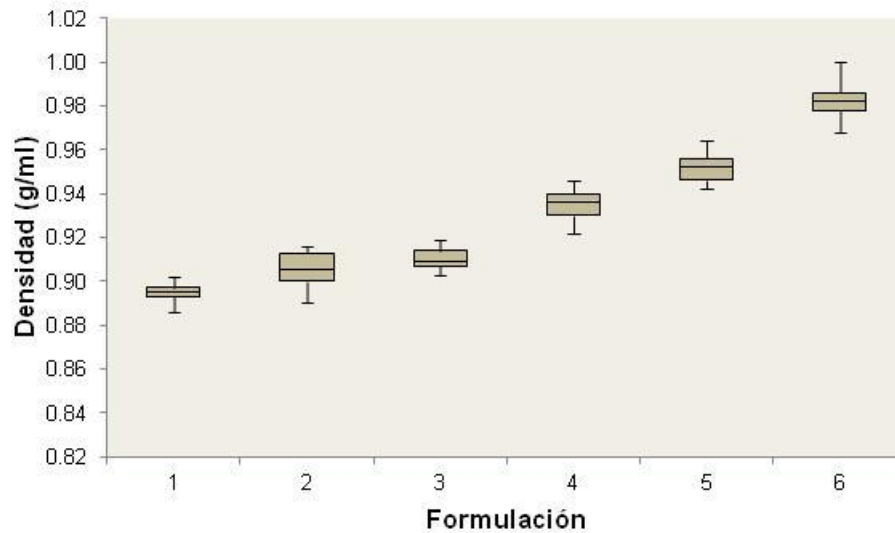
Hipótesis nula

La densidad del adhesivo obtenido, no se ve afectada por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Hipótesis alternativa

La densidad del adhesivo obtenido, se ve afectada por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Apéndice 19.4 **Diagrama de cajas de la densidad del adhesivo, según formulación**



Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

**Apéndice 19.5      Resumen del cálculo de la varianza de la densidad del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	0,496	5	0,099	14,895	0,000
Error	0,032	48	0,0006		
Total corregida	0,527	53			

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

**Apéndice 19.6      Resumen de los subconjuntos homogéneos de la densidad del adhesivo a diferentes concentraciones de caucho natural y xileno**

Formulación	N	Subconjunto para $\alpha = 0,05$				
		1	2	3	4	5
1	9	0,895				
2	9	0,905	0,905			
3	9		0,911			
4	9			0,935		
5	9				0,952	
6	9					0,983
<b>Sig.</b>		0,174	0,691	1,000	1,000	1,000

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados

## Resultado

Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

## Conclusión

La densidad del adhesivo obtenido a diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno, es distinta a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- **Contenido de sólidos**

### Hipótesis nula

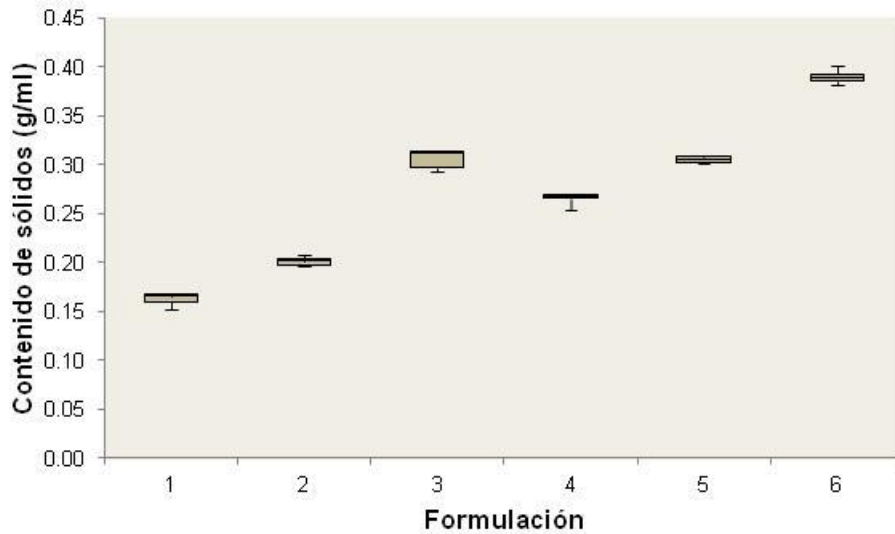
El contenido de sólidos del adhesivo obtenido, no se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

### Hipótesis alternativa

El contenido de sólidos del adhesivo obtenido, se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Apéndice 19.7

**Diagrama de cajas del contenido de sólidos del adhesivo, según formulación**



Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.8

**Resumen del cálculo de la varianza del contenido de sólidos del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	0,299	5	0,059	1 699,24	0,000
Error	0,002	48	0,000		
Total corregida	0,306	53			

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.9 **Resumen de los subconjuntos homogéneos del contenido de sólidos del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Formulación	N	Subconjunto para $\alpha = 0,05$				
		1	2	3	4	5
1	9	0,161				
2	9		0,201			
4	9			0,265		
5	9				0,305	
3	9				0,306	
6	9					0,390
<b>Sig.</b>		1,000	1,000	1,000	0,999	1,000

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

Conclusión

El contenido de sólidos del adhesivo obtenido a diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- **Análisis de viscosidad**

Hipótesis nula

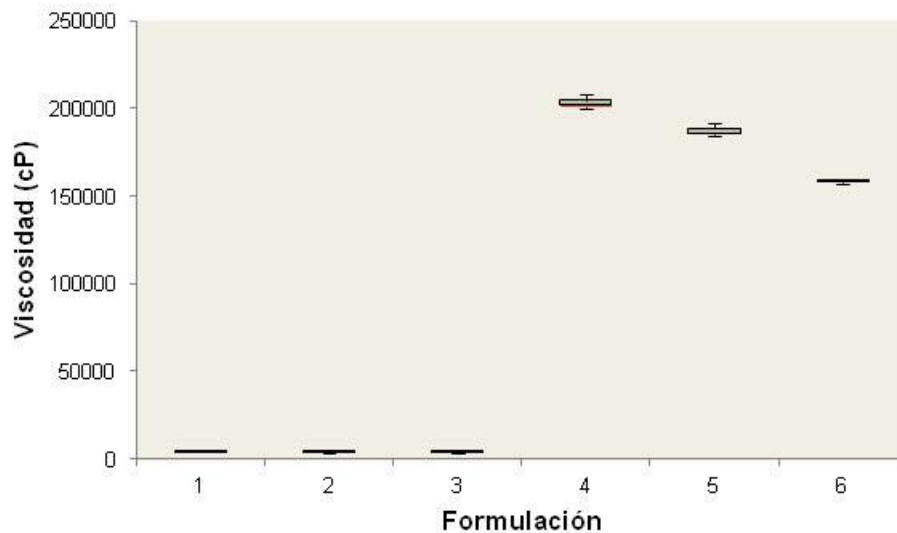
La viscosidad del adhesivo obtenido, no se ve afectada por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Hipótesis alternativa

La viscosidad del adhesivo obtenido, no se ve afectada por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Apéndice 19.10

**Diagrama de cajas de la viscosidad del adhesivo, según formulación**



Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

**Apéndice 19.11 Resumen del cálculo de la varianza de la viscosidad del adhesivo a diferentes concentraciones de solución caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	1.4774E+11	5	2.955E+10	4 802.697	0,000
Error	7.383E+7	12	6.152E+6		
Total corregida	1.478E+11	17			

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

**Apéndice 19.12 Resumen de los subconjuntos homogéneos de la viscosidad del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Formulación	N	Subconjunto para $\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
3	3	3 500,00			
2	3	3 583,33			
1	3	4 250,00			
6	3		158 400,00		
5	3			187 333,33	
4	3				20 333,33
Sig.		0,999	1,000	1,000	1,000

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

**Resultado**

Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).



## Conclusión

La viscosidad del adhesivo obtenido a diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno, es distinta a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- **Ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple**

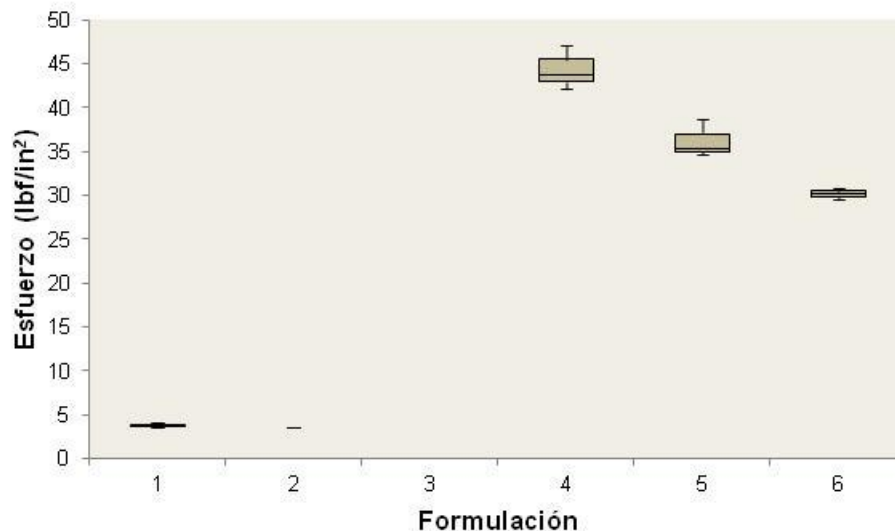
### Hipótesis nula

El ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple del adhesivo obtenido, no se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

### Hipótesis alternativa

El ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple del adhesivo obtenido, se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Apéndice 19.13 **Diagrama de cajas del ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple del adhesivo, según formulación**



Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.14 **Resumen del cálculo de la varianza del ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple del adhesivo a diferentes concentraciones de solución caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	4 447,633	5	889,527	16,233	0,000
Error	657,568	12	54,797		
Total corregida	5 105,202	17			

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.15 **Resumen de los subconjuntos homogéneos del ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Formulación	N	Subconjunto para $\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
3	9	0,000			
2	9	3,550			
1	9	3,835			
6	9		30,170		
5	9			34,213	
4	9				44,327
<b>Sig.</b>		0,117	1,000	1,000	1,000

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

### Resultado

Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

### Conclusión

El ensayo de resistencia a la fractura por superposición simple del adhesivo obtenido a diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- **Análisis del ensayo de pelado en “T”**

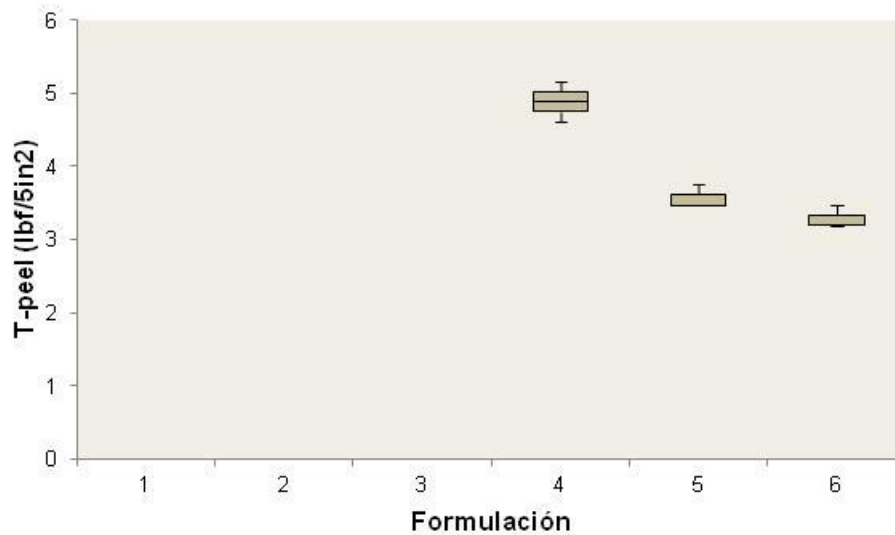
Hipótesis nula

El ensayo de pelado en “T” del adhesivo obtenido, no se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Hipótesis alternativa

El ensayo de pelado en “T” del adhesivo obtenido, se ve afectado por las diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno.

Apéndice 19.16 **Diagrama de cajas del ensayo de pelado en “T” del adhesivo, según formulación**



Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.17 **Resumen del cálculo de la varianza del ensayo de pelado en “T” del adhesivo a diferentes concentraciones de solución caucho natural y xileno**

Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Formulación	73,327	5	14,665	663,756	0,000
Error	0,265	12	0,022		
Total corregida	73,592	17			

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

Apéndice 19.18 **Resumen de los subconjuntos homogéneos del ensayo de pelado en “T” del adhesivo a diferentes concentraciones de solución de caucho natural y xileno**

Formulación	N	Subconjunto para $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
1	9	0,000		
2	9	0,000		
3	9	0,000		
6	9		3,283	
5	9		3,567	
4	9			4,890
<b>Sig.</b>		1,000	0,296	1,000

Fuente: elaboración propia, basado en datos calculados.

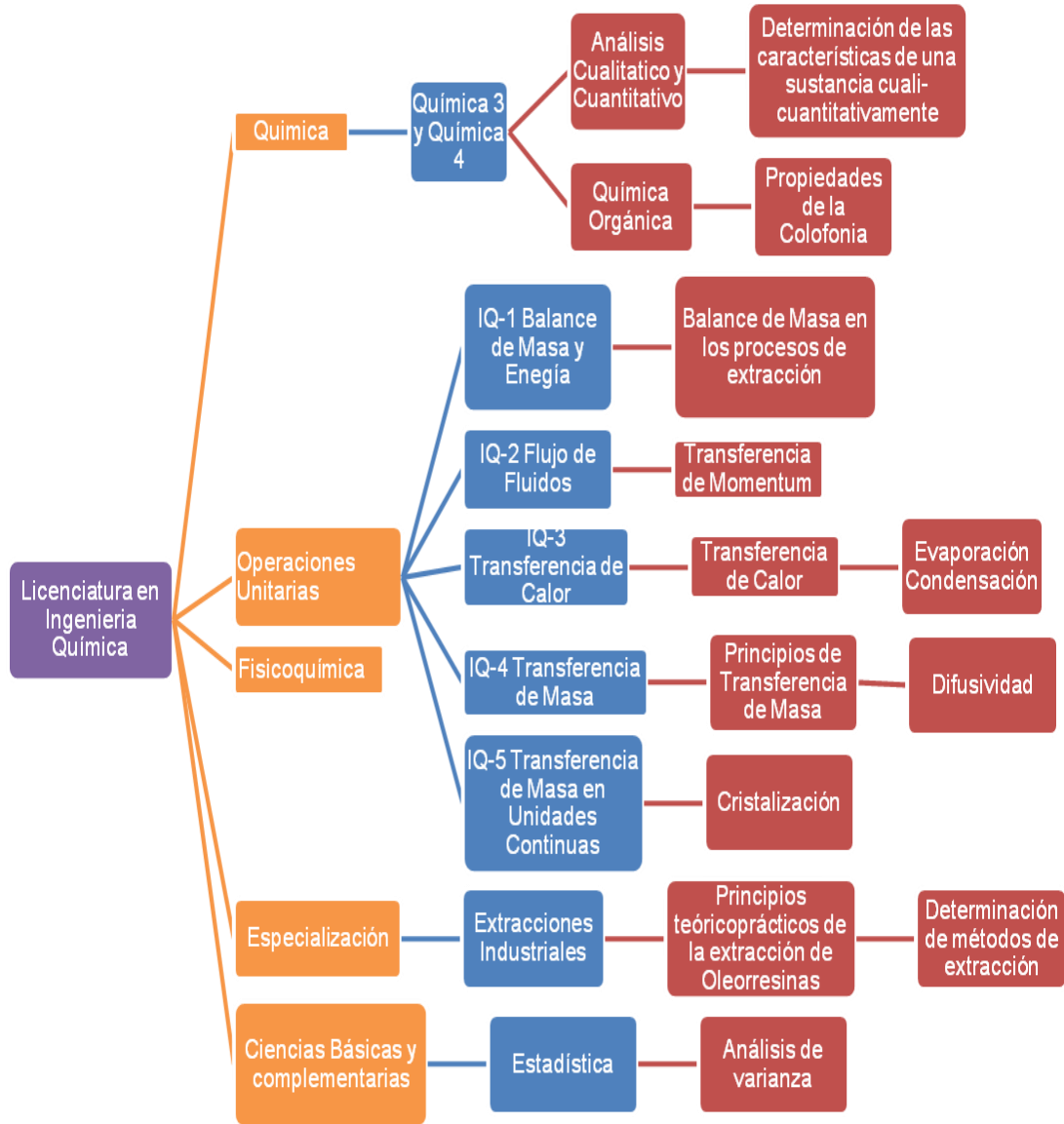
**Resultado**

Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

## Conclusión

El ensayo de pelado en “T” del adhesivo obtenido a diferentes concentraciones de la solución de caucho natural y xileno, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

Apéndice 20. **Tabla de requisitos académicos**

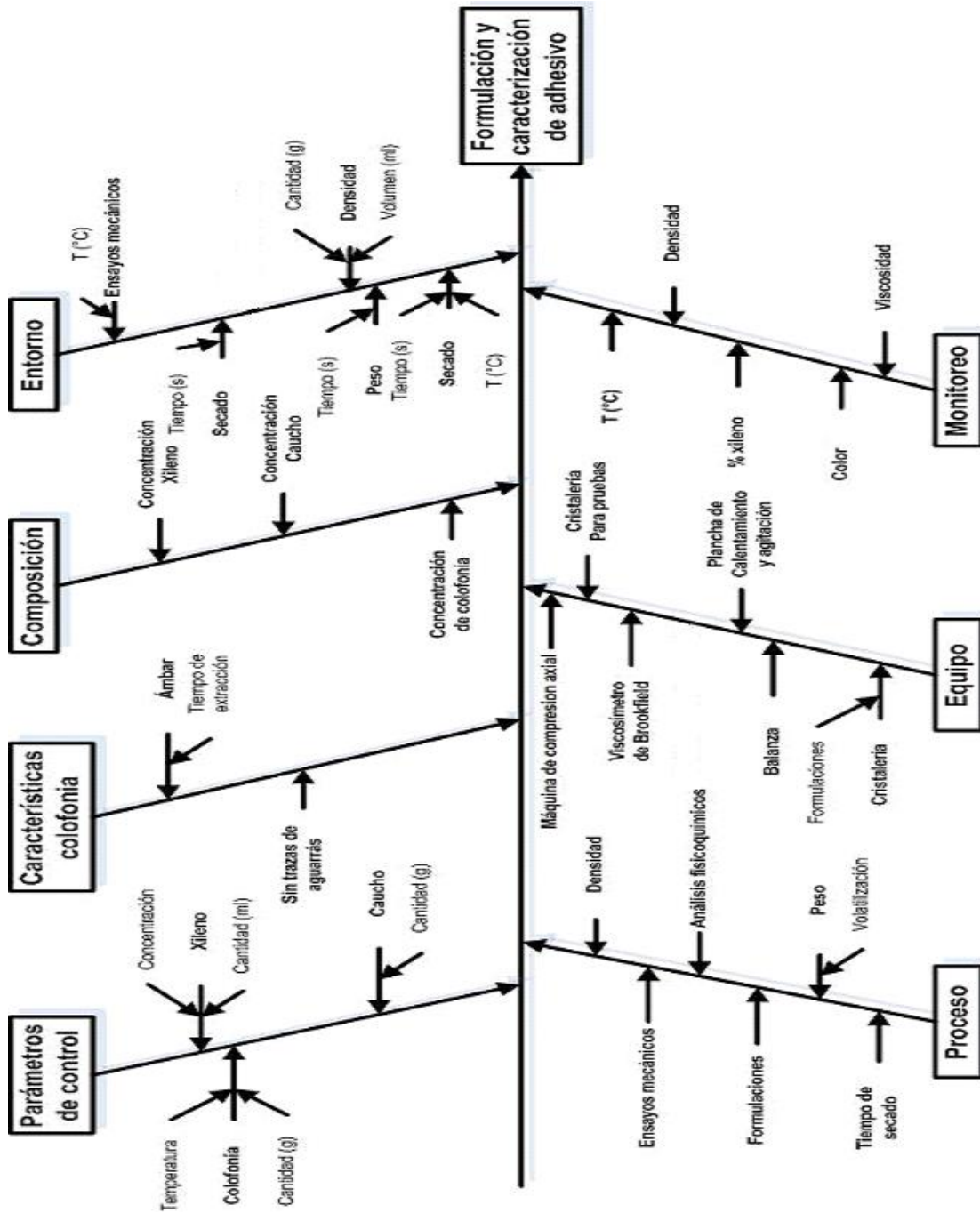


Fuente: elaboración propia.





Apéndice 21. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.



## **ANEXOS**



## Anexo 1. Viscosidad de las formulaciones



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No. 31290  
USAC-CII-QUIND-LAFIQ-  
RG-358-10-13

Interesado: Marleny Elizabeth Blanco González  
Muestra: 18 muestras de Adhesivo  
Fecha: Guatemala, 18 de Abril de 2013

a) Determinación de Viscosidad Cinemática (norma ASTM 1725)

No.	Identificación LAFIQ	Formulación	Viscosidad (mPa*seg) **
1	RG-360-016-13a	0.5 % colofonia: 95% solución Caucho natural (10%):Xileno	4000,00
	RG-360-016-13b		4000,00
	RG-360-016-13c		4500,00
2	RG-360-016-13d	10% colofonia: 90% solución Caucho Natural (10%): Xileno	3500,00
	RG-360-016-13e		3500,00
	RG-360-016-13f		3750,00
3	RG-360-016-13g	20% colofonia: 80% solución Caucho Natural (10%): Xileno	3250,00
	RG-360-016-13h		3500,00
	RG-360-016-13i		3750,00
4	RG-360-016-13j	5% colofonia: 95% solución Caucho Natural (20%): Xileno	200000,00
	RG-360-016-13k		202000,00
	RG-360-016-13l		208000,00
5	RG-360-016-13m	10% colofonia: 90% solución Caucho Natural (20%): Xileno	186000,00
	RG-360-016-13n		184000,00
	RG-360-016-13o		192000,00
6	RG-360-016-13p	20% colofonia: 80% solución Caucho Natural (20%): Xileno	160000,00
	RG-360-016-13k		157200,00
	RG-360-016-13r		158000,00

\*Tp 23 °C

\*\* Muestra proporcionada por el interesado

MSc. Ingrid Lorena Behítez Pacheco  
Coordinadora LAFIQ/QI



Ing. César Alfonso García Guerra  
Jefe  
Sección Química Industrial -CII-

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC





## Anexo 2. Informe LIEXVE



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No. 31112

No. Informe LIEXVE-QI 18-2013

Interesada: Marleny Elizabeth Blanco González. Carnet No. 2005-16281.  
Proyecto: "Trabajo de Graduación: Formulación y caracterización de un adhesivo a partir de la colofonia de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl), para su aplicación en cartón chip calibre 80, a escala laboratorio"  
Muestra: Extracción de colofonia de la resina de pino y 6 Formulaciones de adhesivo a diferentes concentraciones de colofonia, caucho y xileno, cada formulación con tres repeticiones de 150 g.  
Fecha: Guatemala, 30 de julio de 2013.

Se realizaron 6 formulaciones a diferentes concentraciones de un adhesivo, utilizando la colofonia como materia prima, obtenida de la destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl), especie de pino proveniente de Granados, Baja Verapaz. El adhesivo está compuesto por colofonia, caucho y xileno.

Para la destilación de la colofonia, se realizó la limpieza de la utilizando un colador debido a las impurezas como hojas y pedazos de ramas. Después de la limpieza, se procedió a preparar la mezcla de 70 g de agua – aguarrás – resina; 20 % - 5.71 % - 74.29 % respectivamente, para el proceso de destilación en un equipo Kjeldahl. Cada destilación tuvo una duración de 8 horas, con un rendimiento del 71.02 %. Se realizaron 10 destilaciones para un total de 400 g de colofonia. Luego se procedió a la realización de las formulaciones, con las siguientes composiciones:

De cada formulación se realizaron 3 repeticiones, para un total de 18 muestras de adhesivo, las cuales se procedieron a caracterizarlas fisicoquímicamente con las pruebas de: tiempo de secado, contenido de sólidos, densidad, pH y color. Para cada muestra se realizaron 3 observaciones de cada prueba. Para el tiempo de secado, se aplicó 0.25 g de adhesivo a un área de 1 plg<sup>2</sup> de cartón, al cual previamente se midió su masa. Se estableció el tiempo de secado midiendo la masa de cartón/disolvente a cada minuto, por medio de establecimiento de secado al tacto. Para la prueba de contenido de sólidos, se midió en una balanza de humedad. Para la prueba de densidad, se utilizaron probetas de 5 mL y 10 mL, previamente taradas. Se midieron las masas del adhesivo en cada probeta. Para la prueba de pH, se utilizó un potenciómetro, midiendo directamente en la muestra. Para la prueba del color, se observó las diferentes tonalidades ámbar de la formulación.

Página 1 de 7



**Tabla No. 1.** Formulaciones del adhesivo.

Formulación	Colofonia (%)	Porcentaje solución caucho natural/xileno (%)
1	5	95:10
2	10	
3	20	
4	5	95: 20
5	10	
6	20	

**Tabla No. 2.** Tiempo de secado de las formulaciones del adhesivo.

Formulación	Tiempo (min)								
	Repeticiones								
	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	22	24	23	21	25	24	21	25	24
2	24	26	27	26	27	29	26	27	29
3	32	33	35	33	29	30	33	29	30
4	19	19	20	19	17	18	19	17	18
5	21	23	24	23	21	22	23	21	22
6	25	25	28	27	29	27	27	29	27

**Tabla No.3.** Tiempo de secado de las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones.

Formulación	1			2			3			4			5			6		
Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tiempo (min)	23	23	23	26	27	26	33	31	30	19	18	17	23	22	23	25	28	26

**Tabla No. 4.** Medición de la densidad de las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones.

Formulación/Repetición /Densidad (g/cm <sup>3</sup> )																	
1			2			3			4			5			6		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.89	0.90	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.93	0.93	0.94	0.95	0.96	0.95	0.97	0.99	0.98





Tabla No. 5. Medición de sólidos del adhesivo, repetición uno.

Formulación	% Humedad			% Sólidos			Promedio	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )
	1	2	3	1	2	3			
1	83,43	84,46	83,41	16,57	15,54	16,59	16,23	0,89	0,15
2	80,25	79,32	80,46	19,75	20,68	19,54	19,99	0,90	0,18
3	68,65	69,55	70,33	31,35	30,45	29,67	30,49	0,91	0,28
4	73,28	73,22	73,24	26,72	26,78	26,76	26,75	0,93	0,25
5	69,12	69,89	69,09	30,88	30,11	30,91	30,63	0,95	0,29
6	60,83	61,45	61,75	39,17	38,55	38,25	38,66	0,97	0,38

Tabla No. 6. Medición de sólidos del adhesivo, repetición dos.

Formulación	% Humedad			% Sólidos			Promedio	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )
	1	2	3	1	2	3			
1	83,34	83,46	83,47	16,66	16,54	16,53	16,58	0,90	0,15
2	79,92	80,29	79,45	20,08	19,71	20,55	20,11	0,90	0,18
3	68,86	70,74	68,80	31,14	29,26	31,20	30,53	0,91	0,28
4	73,15	73,13	74,72	26,85	26,87	25,28	26,33	0,93	0,25
5	69,41	69,72	69,96	30,59	30,28	30,04	30,30	0,96	0,29
6	61,47	61,15	61,90	38,53	38,85	38,10	38,49	0,99	0,38

Tabla No. 7. Medición de sólidos del adhesivo, repetición tres.

Formulación	% Humedad			% Sólidos			Promedio	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )
	1	2	3	1	2	3			
1	83,90	84,88	84,01	16,10	15,12	15,99	15,74	0,89	0,14
2	79,89	79,85	79,86	20,11	20,15	20,14	20,13	0,91	0,18
3	68,63	68,80	70,45	31,37	31,20	29,55	30,71	0,91	0,28
4	74,36	73,43	73,34	25,64	26,57	26,66	26,29	0,94	0,25
5	69,86	69,18	69,44	30,14	30,82	30,56	30,51	0,95	0,29
6	60,75	59,97	60,07	39,25	40,03	39,93	39,74	0,98	0,39



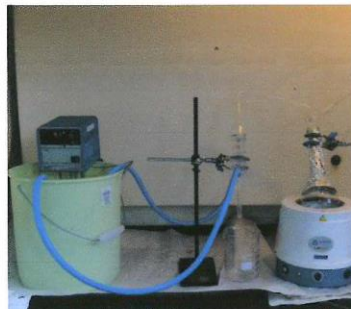
Tabla No. 8. Medición de pH de las formulaciones del adhesivo, de las tres repeticiones.

Formulación	pH								
	Repeticiones								
	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	6,94	6,91	6,94	6,91	6,91	6,92	6,91	6,91	6,91
2	6,69	6,70	6,68	6,74	6,73	6,71	6,73	6,70	6,74
3	6,64	6,64	6,66	6,66	6,65	6,65	6,65	6,65	6,64
4	6,18	6,19	6,19	6,22	6,23	6,22	6,19	6,18	6,19
5	6,37	6,35	6,36	6,34	6,36	6,34	6,36	6,36	6,35
6	6,92	6,93	6,93	6,91	6,89	6,90	6,90	6,89	6,88

Tabla No. 9. Color de las seis formulaciones del adhesivo.

Formulación	Composición		Color
1	5 % colofonia	95% solución caucho natural y xileno al 10%	Ámbar amarillo
2	10% colofonia	90% solución caucho natural y xileno al 10%	Ámbar naranja
3	20 % colofonia	80% solución caucho natural y xileno al 10%	Ámbar café
4	5 % colofonia	95% solución caucho natural y xileno al 20%	Ámbar amarillo
5	10% colofonia	90% solución caucho natural y xileno al 20%	Ámbar naranja
6	20 % colofonia	80% solución caucho natural y xileno al 20%	Ámbar café

Figura No. 1. Extracción de la colofonia.



Se utilizó el equipo de destilación Kjeldahl para una mezcla de 70 g agua – aguarrás – resina; 20 % - 5,71 % - 74.29 % respectivamente. La destilación tuvo una duración de 8 hora



**Figura No. 2.** Colofonia obtenida.

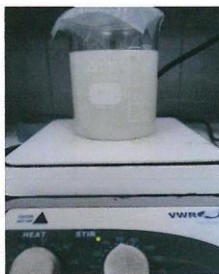


**Figura No. 3.** Caucho natural.



Para la formulación del adhesivo, se utilizó caucho natural. Se cortó en pedazos pequeños.

**Figura No. 4.** Solución de caucho y xileno.



Se agregó el caucho natural y el óxido de zinc al disolvente xileno y se mezcló.

Página 5 de 7



Figura No. 5. Formulación del adhesivo.



Se prepararon las formulaciones con las concentraciones de colofonia y solución de caucho respectivas.

Figura No. 6. Adhesivo Formulado

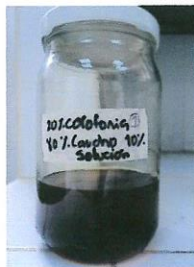


Figura No. 7. Determinación de densidad.







Figura No. 8. Determinación de pH.



*[Handwritten signature]*

Ing. Geo. Mario José Mérida Meré  
Coordinador  
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales  
-LIEXVE-  
Sección Química Industrial CII/USAC



*[Handwritten signature]*

Ing. Qco. César Alfonso García Guerra  
Jefe  
Sección Química Industrial  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC



*[Handwritten signature]*

Vo.Bo. Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

