



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

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA  
SUELA DE CALZADO, UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES, MEDIANTE LA  
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

**Obed Adoniram Orozco Escobar**

Asesorado por el Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA  
SUELA DE CALZADO, UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES, MEDIANTE LA  
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**OBED ADONIRAM OROZCO ESCOBAR**

ASESORADO POR EL ING. ADRIÁN ANTONIO SOBERANIS IBÁÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lémus
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **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:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA  
SUELA DE CALZADO, UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES, MEDIANTE LA  
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 julio de 2015.



**Obed Adoniram Orozco Escobar**

Guatemala, 9 de febrero de 2016

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado ingeniero Wong Davi:

Por este medio informo que he revisado el Informe Final del Trabajo de Graduación con título **"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA SUELA DE CALZADO UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES, MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS."**, del estudiante Obed Adoniram Orozco Escobar que se identifica con carné número 2011 14793.

Después de haber realizado la revisión del Informe Final y haber hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Sin otro particular:



Adrián Soberanis  
Ingeniero Químico  
Colegiado 1515

Ing. Qco. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez  
Colegiado 1515

Asesor



Guatemala, 10 de marzo de 2016.  
 Ref. EIQ.TG-IF.015.2016.

Ingeniero  
 Carlos Salvador Wong Davi  
 DIRECTOR  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **025-2015** 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 el estudiante universitario: **Obed Adoniram Orozco Escobar**.  
 Identificado con número de carné: **2011-14793**.  
 Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA SUELA DE CALZADO UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES, MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Adrián Antonio Soberanis Ibañez**.

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"**

  
 Inga. Cynthia Patricia Ortiz Quiroa  
 COORDINADORA DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.025.2016

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 del estudiante, **OBED ADONIRAM OROZCO ESCOBAR** titulado: **"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA SUELA DE CALZADO, UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES, MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Dav  
 Director  
 Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril 2016

Cc: Archivo  
 CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



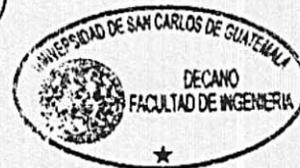
Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.197.2016

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: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA PINTURA REFORMULADA PARA SUELA DE CALZADO UTILIZANDO SOLVENTES RESIDUALES MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS**, presentado por el estudiante universitario Obed Adoniram Orozco Escobar, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, abril de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi salvador y brindarme la paz y seguridad en cada paso y reto de la vida.
<b>Mi padre</b>	Natanael Orozco (q. e. p. d.), mi inspiración y porque un hijo debe cumplir su promesa.
<b>Mi madre</b>	Telvia Escobar, su amor e incondicional apoyo han contribuido a alcanzar los objetivos.
<b>Mi hermana</b>	Steffanie Orozco, por su amor, apoyo, consejos y paciencia.
<b>Mis hermanos</b>	Cesia, Sofia y Esdras Orozco Escobar.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitirme recibir la educación superior dentro de sus aulas.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme los conocimientos necesarios para el desarrollo profesional.
<b>Mi familia</b>	Por el apoyo brindado, sus consejos y su paciencia.
<b>Mis abuelos</b>	Por su amor, sus consejos y apoyo.
<b>Mis tíos</b>	Por sus palabras de ánimo.
<b>Tintallë Oilossëo</b>	Por ser fuente de inspiración, imaginación y ayudar a reinventarme cada día.
<b>Mis amigos</b>	Por su apoyo, consejos y los momentos que hasta ahora hemos pasado juntos.
<b>Química Industrial Romana S. A.</b>	Por brindarme los recursos necesarios para realizar el trabajo de graduación.
<b>Mi asesor</b>	Por darme el apoyo necesario para realizar el trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1.    MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1.    Antecedentes.....	1
1.2.    Justificación .....	1
1.3.    Determinación del problema.....	2
1.3.1.    Definición .....	2
1.3.2.    Delimitación .....	2
2.    MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.    Pintura .....	3
2.2.    Formadores de película.....	4
2.2.1.    Resinas vinílicas .....	4
2.2.2.    Resinas poliuretánicas.....	5
2.3.    Solventes y diluyentes .....	9
2.3.1.    Propiedades de los solventes .....	9
2.3.1.1.    Índice de solubilidad .....	10
2.3.1.2.    Termodinámica de solvatación .....	11
2.4.    Propiedades de la pintura.....	12

2.4.1.	Viscosidad .....	12
2.4.2.	Densidad .....	14
2.4.3.	Secado y curado .....	15
2.4.4.	Sólidos disueltos .....	16
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	19
3.1.	Variables .....	19
3.1.1.	Propiedades fisicoquímicas de la pintura .....	19
3.1.2.	Variables del análisis cuantitativo de la pintura .....	20
3.1.3.	Variables del análisis cualitativo de la pintura .....	20
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	21
3.2.1.	Área de conocimiento.....	21
3.2.2.	Proceso .....	21
3.2.3.	Etapa del proceso .....	21
3.2.4.	Ubicación.....	22
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	22
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	22
3.4.1.	Equipos auxiliares .....	22
3.4.2.	Instrumentos de medición .....	23
3.4.3.	Cristalería .....	23
3.4.4.	Reactivos.....	23
3.4.5.	Materiales.....	24
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	24
3.6.1.	Metodología experimental para la formulación de la pintura.....	24
3.6.2.	Metodología experimental para la obtención de la densidad de la pintura .....	25

3.6.3.	Metodología experimental para la obtención de la viscosidad de la pintura .....	25
3.6.4.	Metodología experimental para determinar la cantidad de sólidos disueltos en la pintura .....	26
3.6.5.	Metodología experimental para determinar el rendimiento de la pintura .....	26
3.6.6.	Metodología experimental para determinar el tiempo de secado de la pintura.....	27
3.6.7.	Metodología experimental para determinar la adhesión de la pintura .....	27
3.6.8.	Metodología experimental para determinar el tiempo de separación de la dispersión .....	28
3.6.9.	Metodología experimental para determinar el poder de cobertura, colorimetría.....	28
3.6.10.	Metodología experimental para determinar la resistencia a la flexión .....	29
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	29
3.7.1.	Propiedades fisicoquímicas .....	29
3.7.1.1.	Densidad .....	30
3.7.1.2.	Viscosidad cinemática .....	30
3.7.2.	Propiedades cuantitativas.....	31
3.7.2.1.	Porcentaje sólidos disueltos .....	31
3.7.2.2.	Rendimiento de pintura.....	32
3.7.3.	Propiedades cualitativas.....	33
3.8.	Análisis estadístico .....	33
3.8.1.	Media.....	33
3.8.2.	Varianza .....	33
3.8.3.	Desviación estándar .....	34

3.8.4.	Coeficiente de variación .....	34
3.8.5.	Análisis de varianza (Anova).....	35
3.9.	Plan de análisis de resultados.....	37
3.9.1.	Caracterización de la pintura.....	37
3.9.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	37
4.	RESULTADOS.....	39
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	41
	CONCLUSIONES.....	45
	RECOMENDACIONES .....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	APÉNDICES.....	51
	ANEXOS.....	63

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura química de las resinas vinílicas.....	4
2.	Poliisocianatos alifáticos .....	6
3.	Poliisocianatos aromáticos.....	6
4.	Reacción del isocianato con resinas hidroxiladas .....	7
5.	Reacción de curado de la pintura de poliuretano .....	8
6.	Proceso de secado.....	16

### TABLAS

I.	Variables evaluadas para la caracterización fisicoquímicas de la pintura.. ..	19
II.	Variables evaluadas para la caracterización cuantitativa de las pinturas .....	20
III.	Variable evaluada para la caracterización cualitativa de las pinturas ..	21
IV.	Tabla resumen análisis Anova y grados de libertad.....	36
V.	Comparativa de las pinturas para el acabado de suela de calzado, según formulación.....	39
VI.	Coeficientes de variación para las diferentes propiedades estudiadas.....	40
VII.	Análisis de varianza de las propiedades entre las diferentes pinturas estudiadas .....	40



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>AS</b>	Adhesión a superficie
<b><math>A_{pin}</math></b>	Área pintada [ $m^2$ ]
<b>cSt</b>	Centistokes
<b>cv</b>	Coefficiente de variación
<b><math>x_i</math></b>	Dato i
<b><math>Y_{ij}</math></b>	Dato ij de las muestras analizadas
<b><math>\rho</math></b>	Densidad [g/mL]
<b>s</b>	Desviación estándar
<b>H</b>	Entalpía
<b>S</b>	Entropía
<b>F</b>	Fisher calculada
<b><math>F_C</math></b>	Fisher datos tabulados
<b>G</b>	Energía de Gibbs
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>gl</b>	Grados de libertad
<b>g</b>	Gramos
<b><math>\Delta A</math></b>	Incerteza área [ $m^2$ ]
<b><math>\Delta \rho</math></b>	Incerteza densidad [g/mL]
<b><math>\Delta m</math></b>	Incerteza masa [g]
<b><math>\Delta t</math></b>	Incerteza tiempo [s]
<b><math>\Delta v</math></b>	Incerteza viscosidad cinemática [cSt]
<b><math>\Delta V</math></b>	Incerteza volumen [mL]
<b>IC</b>	Intensidad de color

<b>m</b>	Masa [g]
<b>m<sub>f</sub></b>	Masa final [g]
<b>m<sub>i</sub></b>	Masa inicial [g]
<b>m<sub>ut</sub></b>	Masa utilizada [g]
<b><math>\bar{x}</math></b>	Media
<b><math>\mu_i</math></b>	Medias muestrales del compuesto i
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>mL</b>	Mililitro
<b>min</b>	Minutos
<b>k</b>	Número de tratamientos
<b>n</b>	Número total de datos de los diferentes tratamientos
<b>N</b>	Número total de datos tomados
<b>%</b>	Porcentaje
<b>%SD</b>	Porcentaje sólidos disueltos [%]
<b>R</b>	Rendimiento [g/m <sup>2</sup> ]
<b>RF</b>	Resistencia a la flexión
<b>s</b>	Segundos
<b>SSA</b>	Suma de cuadrados de los tratamientos
<b>SSE</b>	Suma de cuadrados del error
<b>SST</b>	Suma de cuadrados total
<b>T</b>	Temperatura [°C]
<b>t</b>	Tiempo [s]
<b>TS</b>	Tiempo de secado [s]
<b>TSD</b>	Tiempo de separación de la dispersión [min]
<b>T<sub>r</sub></b>	Total de tratamientos
<b>T<sub>i</sub></b>	Tratamientos del bloque i
<b>s<sup>2</sup></b>	Varianza
<b>v</b>	Viscosidad cinemática [cSt]
<b>V</b>	Volumen [mL]

## GLOSARIO

<b>Aditivo</b>	Sustancia que se agrega a la pintura, para mejorar y darle cualidades de las que carece.
<b>Aglutinante</b>	Sustancia en la que se diluyen los pigmentos para preparar barnices o pinturas.
<b>Diluyente</b>	Sustancia que se utiliza para disminuir la concentración y modifica propiedades de la pintura.
<b>Disolvente</b>	Sustancia líquida que separa las moléculas y partículas de un sólido de forma que queden incorporadas en ella.
<b>Dispersión</b>	Sustancia aparentemente homogénea, en cuyo seno hay otra finamente dividida.
<b>Pigmento</b>	Materia colorante que se utiliza en las pinturas.
<b>Pintura</b>	Compuesto que se utiliza para proteger y darle un acabado final a un objeto.
<b>Polímero</b>	Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

**PVC**

Cloruro de polivinilo, resina termoplástica obtenida por la polimerización de derivados de cloruro de vinilo.

**Resina**

Sustancia sólida o de consistencia pastosa, que dependiendo del tipo puede ser o no soluble en agua.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación y caracterización del uso de solventes residuales, utilizados en la purga de máquinas de pintado y residuos de pinturas que ya no se utilizan en producción para su reutilización en el formulado de pinturas para suelas de calzado; el objetivo fue buscar una alternativa en el manejo de solventes y resinas químicas residuales que contribuya disminuir el impacto ambiental y a una posible reducción de gastos a las industrias guatemaltecas.

Se realizó la formulación de una pintura, escogiendo como resina base el compuesto polivinilo de cloruro, se produjo la pintura utilizando solventes puros; luego se evaluaron las propiedades fisicoquímicas tales como: densidad, viscosidad, porcentaje de sólidos disueltos, así como un análisis cuantitativo y cualitativo, como: adherencia a la superficie, resistencia a la flexión, tiempo de separación de la emulsión, colorimetría, rendimiento y tiempo de secado.

Asimismo, se realizaron las mismas pruebas a la pintura formulada únicamente con la mezcla de solventes residuales, al comparar los resultados con la pintura formulada con solventes puros diferían en varios aspectos; por lo que se formuló una nueva pintura en la cual se incluyó un porcentaje de solventes residuales, siendo este 53 %. Al practicarle las pruebas antes descritas y caracterizar la pintura en la aplicación de darle el acabado a la suela de calzado, ésta presentó una mejora en las variables cualitativas de rendimiento y colorimetría en comparación a la pintura formulada con solventes puros.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar las características de una pintura reformulada para suela de calzado mediante la determinación de las propiedades fisicoquímicas, utilizando solventes residuales.

### **Específicos**

1. Cuantificar el porcentaje de sólidos disueltos en la pintura que incluye solventes residuales en su formulación y pintura formulada a base de solventes puros.
2. Determinar el tiempo de separación de la fase dispersa en la pintura que incluye solventes residuales en su formulación y pintura formulada a base de solventes puros.
3. Calcular el porcentaje máximo de solvente residual que se utilizaría en la formulación de una pintura, sin que afecte las características de la misma y su aplicación en el acabado de la suela de calzado.
4. Comparar las propiedades fisicoquímicas y físicas de la pintura que incluye solventes residuales en su formulación y pintura formulada a base de solventes puros.

5. Evaluar el rendimiento y capacidad de cobertura de la pintura que incluye solventes residuales en su formulación y pintura formulada a base de solventes puros.
6. Analizar las propiedades de la pintura que incluye solventes residuales en su formulación al aplicarla en el acabado de la suela de calzado.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis de trabajo**

Se puede formular una pintura para uso en el acabado de suelas de calzado utilizando solventes residuales.

### **Hipótesis estadísticas**

#### **Hipótesis de investigación (H<sub>i</sub>)<sub>1</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura representará cambios significativos en la densidad de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ).

#### **Hipótesis de investigación (H<sub>i</sub>)<sub>2</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura representará cambios significativos en la viscosidad de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ).

### **Hipótesis de investigación (H<sub>i</sub>)<sub>3</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura representará cambios significativos en el rendimiento de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ).

### **Hipótesis de investigación (H<sub>i</sub>)<sub>4</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura representará cambios significativos en el tiempo de secado de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ).

### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)<sub>1</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura no representará cambios significativos en la densidad de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ).

### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)<sub>2</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura no representará cambios significativos en la viscosidad de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ).

### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)<sub>3</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura no representará cambios significativos en el rendimiento de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ).

#### **Hipótesis nula ( $H_0$ )<sub>4</sub>**

La utilización de solventes residuales para la formulación de una pintura no representará cambios significativos en el tiempo de secado de esta, en comparación a la utilización de solventes puros ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ).

## INTRODUCCIÓN

La pintura se define desde el punto de vista fisicoquímico, como una dispersión de un sólido finamente dividido en un medio fluido, el que a su vez estará compuesto por un material formador de película y una mezcla solvente.

Con la entrada del siglo XX, la industria de las pinturas, como cualquier otra industria manufacturera, experimentó cambios dramáticos. Aglutinantes tradicionales se fueron sustituyendo por resinas sintéticas y muchos nuevos campos de la tecnología de los recubrimientos se empezaron a desarrollar.

Con la fabricación de la primera pintura con una emulsión de látex a base de estireno después de la Segunda Guerra Mundial, la gran aceptación y rápido crecimiento de este tipo de recubrimientos comenzó. En la actualidad, una gran variedad de emulsiones se encuentra en el mercado para una gran variedad de aplicaciones.

A partir de esto, la evolución de productos químicos sintéticos para la elaboración de resinas, disolventes, colorantes para la elaboración de pinturas se ha dado de manera significativa, razón por la cual es necesario estudiar la calidad de una pintura basada en sus propiedades fisicoquímicas y cómo el agente disolvente y diluyente al estar en la formulación, afectará a esta.

Las propiedades de una película de pintura y su comportamiento en la aplicación final dependen de la formulación considerada, de la tecnología de elaboración, de la forma de aplicación y de las condiciones de secado/curado. El formulador o el fabricante de la pintura solo controla la selección de sus

componentes, la relación cuantitativa entre ellos y el método de dispersión de los pigmentos que determina la eficiencia de la pintura; las restantes variables son importantes y muy decisivas en cuanto al resultado final porque pueden anular el esfuerzo tecnológico realizado durante la elaboración.

Considerando que se ha optado por las materias primas adecuadas, la relación pigmento/aglutinante influye sobre importantes propiedades de la película de pintura, como el brillo, la permeabilidad, la adhesión, la elongación, la resistencia a la abrasión, el poder de cobertura, entre otros.

Cabe destacar que las pruebas realizadas en el presente trabajo de graduación, se seleccionaron de acuerdo a la aplicación final de dicha pintura, para dar un acabado a las suelas de calzado, tomando en cuenta su forma de aplicación a nivel industrial.

# **1. MARCO CONCEPTUAL**

## **1.1. Antecedentes**

En busca de un camino más productivo y con menos costo, sin que esto signifique un daño mayor al medio ambiente, surge la idea de evaluar la reutilización de solventes residuales como base para formulación de pintura nueva en el área industrial, donde la demanda de calidad es significativa y se deben mantener estándares y parámetros de la calidad de una pintura.

En la búsqueda de investigaciones en las cuales se refleje la reutilización de solventes residuales, para uso en la formulación de pinturas, se determinó que no se han realizado. En el ámbito de reutilización de solventes se han realizado estudios, donde se propone la purificación del solvente previo a la reutilización a través del proceso de destilación y filtrado; en el ámbito económico, a las empresas no les favorece este procedimiento, por lo que se buscó una alternativa para el uso de los compuestos residuales.

## **1.2. Justificación**

Los solventes residuales que se generan en las industrias guatemaltecas son significativos, y el alto costo que produce su disposición final mediante una empresa que trata residuos químicos industriales, ha llevado a buscar alternativas para el manejo de estos compuestos, sin que esto origine un gasto mayor al enviarlo a otra empresa, dado que la cantidad aproximada de estos residuos es de cien kilogramos mensuales, resultado de la purga de las máquinas de pintado.

Además, se realizó un estudio del comportamiento de la utilización de estos compuestos químicos residuales para la formulación de una nueva pintura y observar en qué porcentaje no alterará la calidad requerida, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas, cuantitativas y cualitativas.

### **1.3. Determinación del problema**

A continuación se detalla el problema investigado que dio origen al presente trabajo de graduación.

#### **1.3.1. Definición**

Reutilización de las cantidades significativas de compuestos químicos residuales que se generan en el proceso de pintado de la suela de calzado, como base en la formulación de nuevas pinturas.

#### **1.3.2. Delimitación**

La investigación consistió en evaluar las propiedades fisicoquímicas de la pintura reformulada como densidad y viscosidad. Las propiedades cuantitativas que se evaluaron fueron: porcentaje de sólidos disueltos, rendimiento y tiempo de secado; y las propiedades cualitativas evaluadas fueron: adhesión, poder de cobertura (colorimetría), tiempo de separación de la dispersión y resistencia a la flexión.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Pintura**

La pintura, desde un punto de vista fisicoquímico, es un sistema disperso. Está constituida generalmente por partículas sólidas finamente dispersadas en un medio fluido denominado vehículo. El vehículo está basado en una sustancia aglutinante, también llamada formadora de película, dispuesta en un solvente o mezcla de solventes al cual se le incorporan aditivos y eventualmente plastificantes.

En el caso de las pinturas formuladas a base de solvente orgánico, el vehículo es una solución líquida que rodea las partículas del pigmento dispersado en la pintura; durante el secado el sistema se hace más viscoso y el aglutinante fluye alrededor de las partículas durante casi toda esta etapa; se observa una significativa contracción volumétrica de la película.

La formulación de una pintura eficiente requiere conocer las propiedades intrínsecas de los diferentes componentes involucrados y además establecer las reacciones o interacciones que tienen lugar entre los mismos, tanto durante la elaboración y almacenamiento del producto como en la aplicación sobre una superficie.

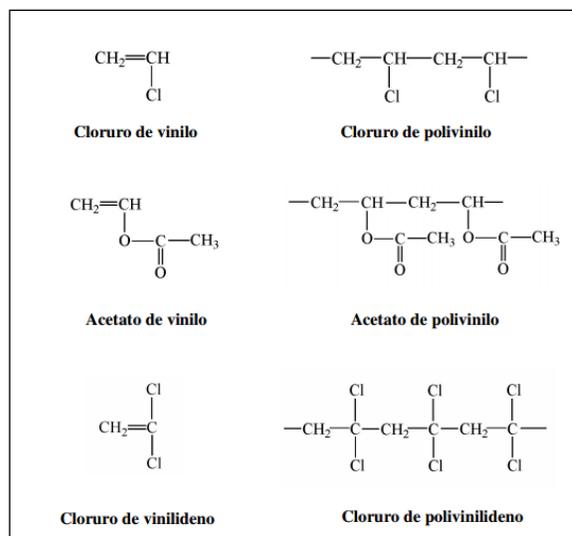
## 2.2. Formadores de película

También llamados aglutinantes o resinas, son polímeros o prepolímeros que forman una película cohesiva sobre un sustrato y tienen como función aglutinar los pigmentos después del secado y curado.

### 2.2.1. Resinas vinílicas

Se obtienen a partir de diversos monómeros con dobles enlaces, como cloruro de vinilo y acetato de vinilo; polimerizan por adición y por acción térmica, en forma de compuestos con largas cadenas hidrocarbonadas, en las que aparecen grupos polares que mejoran la adhesión. Estas resinas pueden ser homopolímeros como el cloruro de polivinilo o heteropolímeros, como el cloruro-acetato de polivinilo. Los grupos presentes definen las propiedades del producto final.

Figura 1. Estructura química de las resinas vinílicas



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas, Protección de Materiales. p. 53.

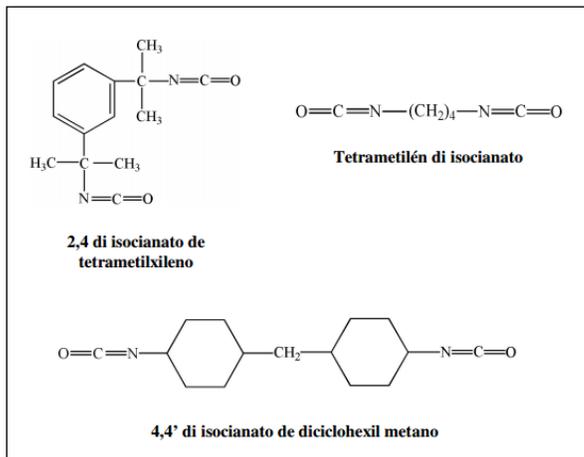
Estas resinas forman películas duras, por lo que requieren un plastificante externo para modificar la dureza y mejorar la adhesión. Los disolventes más utilizados son la butanona y metil-isobutil-cetona, y como diluyentes se usan el tolueno y xileno, los que retardan el secado y mejoran el proceso de pintado.

Se especifican para la protección de sustratos expuestos a atmósferas con ácidos inorgánicos, álcalis, cloro y sus derivados. Las resinas vinílicas modificadas como las vinil-alquídicas, epoxi-vinílicas, entre otras, tienen muchas aplicaciones en sistemas multicapa para la industria.

### **2.2.2. Resinas poliuretánicas**

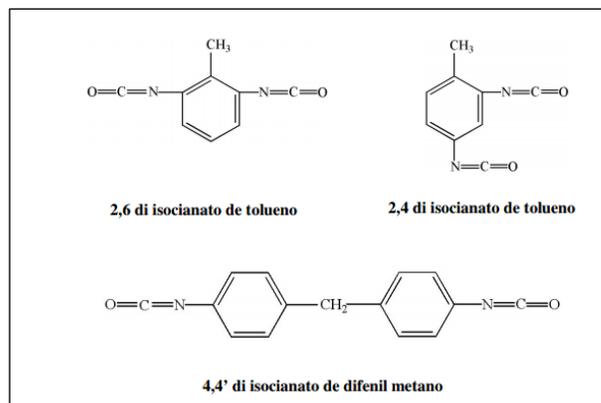
El término poliuretano abarca los productos intermedios con funcionalidad isocianato ( $-N=C=O$ ), y también los sistemas formados por la combinación de esos intermedios con resinas. Los poliuretanos aromáticos contienen por definición grupos reactivos isocianato vinculados directamente al anillo bencénico, mientras que los poliuretanos alifáticos son aquellos en los que la función característica está unida a un carbono de cadena alifática, es decir, que los compuestos pueden contener grupos aromáticos, pero no asociados al isocianato.

Figura 2. **Poliisocianatos alifáticos**



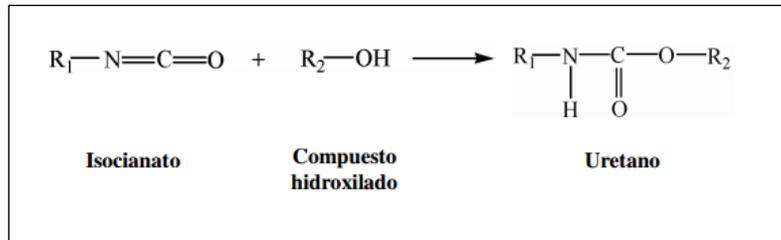
Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas, Protección de Materiales. p. 69.

Figura 3. **Poliisocianatos aromáticos**



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas, Protección de Materiales. p. 70.

Figura 4. **Reacción del isocianato con resinas hidroxiladas**



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas, Protección de Materiales. p. 71.

La química básica de los sistemas de poliuretano implican la reacción de adición, por su carácter de no saturación de la función isocianato con grupos que contienen átomos activos de hidrógeno, como el agua, alcoholes, ácidos, aminas, entre otros.

Los sistemas de dos componentes (curado a temperatura ambiente) más frecuentes son los del tipo base poliéster y los acrílico poliuretano. Los primeros se emplean para maderas en forma de lacas, esmaltes y barnices; se utilizan también en la construcción, industria naval, transporte pesado, maquinaria agrícola y vial, aeronaves. Los segundos exhiben excelente resistencia a la intemperie, agentes químicos, hidrólisis alcalina y a la decoloración; se emplean en aplicaciones industriales, construcciones civiles, maquinaria pesada, ferrocarril, aeronaves, entre otros.

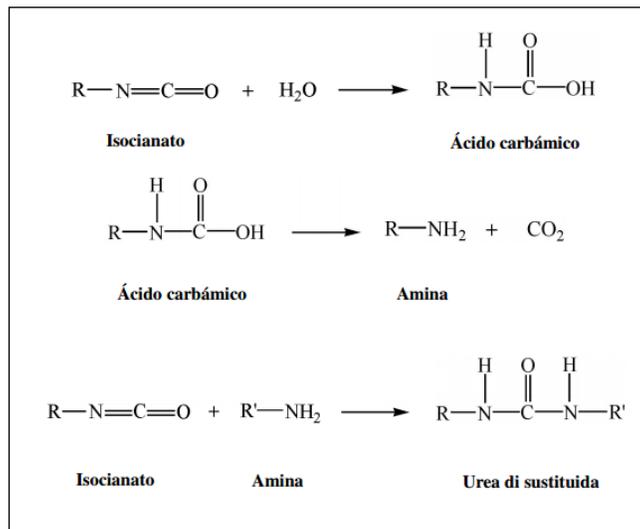
Los sistemas de un solo componente usualmente contienen la función isocianato bloqueada; el curado con poliésteres y acrílicas se realizan a elevada temperatura para recuperar su capacidad funcional. El curado por vía húmeda (aporte del vapor de agua del aire) genera películas con satisfactoria resistencia al agua, a los disolventes y a la intemperie, pero no a los reactivos

químicos; presentan buena resistencia al impacto y a la abrasión y se emplean en revestimientos para madera y endurecimiento del hormigón.

Otro sistema de un solo componente es el conformado por poliuretanos modificados con aceites secantes; estos forman película por oxidación al aire y no son aconsejables para contacto permanente con agua, agentes químicos y disolventes, pero tienen buena resistencia a la intemperie y la película es de fácil repintado.

El curado de los poliuretanos, generalmente se da por la vía húmeda, que consiste en que los prepolímeros con base poliéter o poliéster/uretano con exceso de isocianato, el cual reacciona con la humedad del ambiente, una vez se ha aplicado la película de pintura.

Figura 5. **Reacción de curado de la pintura de poliuretano**



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas, Protección de Materiales. p. 72.

Para la elección de los solventes y diluyentes de este tipo de resinas se debe considerar que este constituye el medio de disolución del polímero y también el medio de reacción, por lo que los solventes y diluyentes deben estar exentos de grupos hidrógenos reactivos. Los disolventes más adecuados que se utilizan son los acetatos de etilo y de butilo, metil-isobutil-cetona y la butanona. Como diluyentes se utilizan el tolueno y xileno, es importante que los disolventes y diluyentes no contengan agua.

### **2.3. Solventes y diluyentes**

Los solventes se incorporan a fin de facilitar la elaboración, almacenaje y aplicación de la pintura. La mezcla solvente, en general, no está constituida por una única sustancia, sino que suele contener varias. Es oportuno diferenciar, dentro de esta mezcla, al solvente verdadero que es el que posee la capacidad de disolver a la resina; los diluyentes no son capaces de disolver por sí mismos a la resina, pero permiten disminuir la cantidad del disolvente real. La utilización de diluyentes permite la disminución de costos, ya que suelen ser más baratos que los disolventes y el ajuste de otras propiedades.

#### **2.3.1. Propiedades de los solventes**

A continuación se detallan las propiedades que tienen los solventes y la importancia de estas, dependiendo el tipo y la aplicación que se le vaya a dar.

### 2.3.1.1. Índice de solubilidad

Es indispensable que la mezcla solvente tenga la capacidad de disolver a la resina, este es su fin principal, y es por esta razón, que es la primera y más importante propiedad.

Existen diversos parámetros para evaluar el poder solvente de una determinada sustancia. Por ejemplo, el número kauri-butanol, para hidrocarburos, que se define como la cantidad máxima de solvente que puede agregarse a una solución de resina kauri (una resina que se extrae de una especie de coníferas: *Agathisaustralis*) en butanol sin producir turbidez.

Dado que la resina es insoluble en hidrocarburos, mientras mayor cantidad de solvente se pueda agregar, mayor será el poder solvente del mismo. Así los solventes fuertes como el xileno tienen un alto número kauri-butanol. Este método está estandarizado por ASTM.

Para estimar la solubilidad de un polímero se utiliza el grado de solubilidad, como el mínimo porcentaje de tolueno que debe agregarse a una mezcla del polímero y n-dodecano (en proporción 1:9), para obtener una solución sin turbidez. Cuanto más soluble sea el polímero, menor la cantidad de tolueno que deberá agregarse.

Para mezclas solvente-polímero, también existe una estimación de la solubilidad mutua. El número de heptano representa la cantidad máxima de n-heptano que puede agregarse a una solución polímero/solvente sin presentar turbidez.

Estos índices tienen la ventaja de aportar información concisa acerca de los disolventes, pero carecen de una base teórica e ignoran el hecho que cada solvente o tipo de solvente es más o menos afín a determinada resina o tipo de resina. Un solvente que puede disolver fácilmente una resina, quizá no sea tan eficiente con otra, y un segundo solvente que sea incapaz de solubilizar a la primera resina, sí pueda hacerlo con la segunda.

Las fuerzas de atracción intermolecular o fuerzas de Van Der Waals, corresponden a fenómenos diferentes y se las puede clasificar en tres grupos: fuerzas de London o fuerzas de dispersión, originadas por la interacción de dipolos transitorios. Fuerzas polares, ya sea por interacción dipolo-dipolo (fuerzas de Keesom) o dipolo-dipolo inducido (fuerzas de Debye). Puentes de hidrógeno, producidas en las moléculas que posean un átomo de hidrógeno unido a un elemento muy electronegativo como O, N o F.

### **2.3.1.2. Termodinámica de solvatación**

Para que se produzca un proceso espontáneo, como el de disolución, la variación de energía libre debe ser negativa, por lo que el proceso debe producir una disminución de energía libre del sistema.

$$G = H - TS \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Los polímeros en general se encuentran en estado amorfo (no cristalino) y su disolución puede considerarse como una simple mezcla. Por otro lado, los solventes líquidos presentan un gran desorden (elevada entropía) y una gran libertad que les permite, incluso, escapar de la fase líquida hacia la fase vapor. Los polímeros en cambio, a causa de su gran tamaño y forma tienen muy poca libertad. Al mezclarse estos últimos con las pequeñas moléculas de solvente, adquieren una mayor libertad y la posibilidad de reordenarse, esto produce un

aumento de entropía. Esto hace que el segundo término de la ecuación 1 tienda a hacer negativa a la variación de energía libre.

Para separar las moléculas del solvente debe emplearse una determinada cantidad de energía, que tenderá a aumentar y a hacer positiva la ecuación 1. De este modo la disolución será posible si la energía necesaria para separar las moléculas del solvente es pequeña a comparación de la variación entrópica.

## **2.4. Propiedades de la pintura**

Una pintura tiene propiedades que se pueden modificar dependiendo la aplicación para la cual se requiere, entre estas propiedades se encuentran las descritas a continuación.

### **2.4.1. Viscosidad**

Es una propiedad de fundamental importancia en la pintura. Una viscosidad excesiva puede causar problemas relacionados con un alto espesor de capa provocando un curado lento o deficiente y con la aplicación en sí misma. Por otro lado, una viscosidad baja podría relacionarse con bajo espesor de pintura por capa, es decir, bajo poder de cobertura, alta permeabilidad y problemas de chorreado.

La viscosidad de las pinturas es finalmente ajustada con aditivos reológicos, por lo que la influencia del solvente es relativa. En realidad, la viscosidad final de una pintura resulta de la influencia de varios factores: disolventes, resina (tipo, concentración, peso molecular), carga de pigmentos, incorporación de aditivos.

En general, la viscosidad de una pintura aumenta con el peso molecular del solvente de una serie homóloga, a la vez que disminuye el poder solvente. Las comparaciones entre solventes de diferentes series, por otro lado, no parecen correlacionar el poder solvente con la viscosidad. Se observa, sin embargo, que cuando un solvente (o una mezcla) tiene los parámetros de solubilidad centrados en el área de solubilidad de una resina, esta mezcla tiene una alta viscosidad; para lograr una baja viscosidad se debería trabajar en el borde del área de solubilidad. Es por esta razón, que el agregado de solventes no polares y con baja afinidad a la resina disminuye la viscosidad de la pintura, aún con el riesgo de producir turbiedad.

En cuanto a la relación entre la viscosidad y la concentración de resina, existen estudios realizados para soluciones de polímeros. La relación de las viscosidades de una disolución de un polímero y la del disolvente se denomina viscosidad relativa ( $\eta_r$ ). Este valor menos uno se llama viscosidad específica ( $\eta_{sp}$ ), y la viscosidad reducida ( $\eta_{red}$ ), o índice de viscosidad, se obtiene dividiendo  $\eta_{sp}$  por la concentración de la disolución (C). La viscosidad intrínseca o índice de viscosidad límite, se obtiene extrapolando  $\eta_{red}$  a una concentración cero.

Staudinger demostró que la viscosidad intrínseca de una disolución como la viscosidad del producto fundido, estaba relacionada con el peso molecular medio del polímero (M). La forma actual de esta relación viene dada por la ecuación de Mark-Houwink, en la que la constante de proporcionalidad K es característica del polímero y del disolvente y el exponente a es una función de la forma de la hélice del polímero en la disolución. En un disolvente, el valor para la hélice estadística ideal es 0,5. Este valor que es en realidad una medida de la interacción entre disolvente y polímero, aumenta a medida que la hélice se expande en disolventes más adecuados, tomando a un valor entre 1,8 y 2,0

para una cadena de polímero rígida estirada en toda su longitud y 0 para las formas esféricas. El valor de  $a$  se encuentra normalmente entre 0,5 y 0,8 en disoluciones de los polímeros,  $K$  tiene valores que generalmente van de  $10^{-2}$  a  $10^{-4}$  mL/g.

$$n = K * M^a \quad \text{[Ecuación 2]}$$

La viscosidad intrínseca de una disolución, como la viscosidad de un producto fundido, depende de la temperatura y disminuye a medida que aumenta la temperatura, como se observa en la siguiente ecuación de Arrhenius. Sin embargo, si la temperatura original se halla por debajo de la temperatura  $\theta$ , la viscosidad se incrementará cuando la mezcla del polímero y del disolvente se calienta a una temperatura ligeramente superior a la temperatura  $\theta$ .

$$n = A e^{-Ea/RT} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

#### **2.4.2. Densidad**

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra  $\rho$  del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. La densidad de una pintura está relacionada con su poder de cobertura y la cantidad de sólidos disueltos en ella, esto hace que sea un parámetro de evaluación importante. Se seguirán las bases de la Norma NTC 561 (Método de determinación de la densidad de recubrimientos líquidos).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

### **2.4.3. Secado y curado**

El secado involucra el pasaje de la película de pintura líquida, en forma de capa delgada aplicada sobre un sustrato, al estado sólido por la evaporación de la mezcla solvente. Las propiedades físico-mecánicas de la película (flexibilidad, dureza, adhesión) dependen fundamentalmente del componente resinoso que conforma el aglutinante.

Composiciones que forman película exclusivamente por cambios físicos (evaporación de los disolventes y diluyentes) se las denomina termoplásticas. Estas películas no convertibles se caracterizan porque se disuelven en contacto con solventes similares a los empleados en la elaboración.

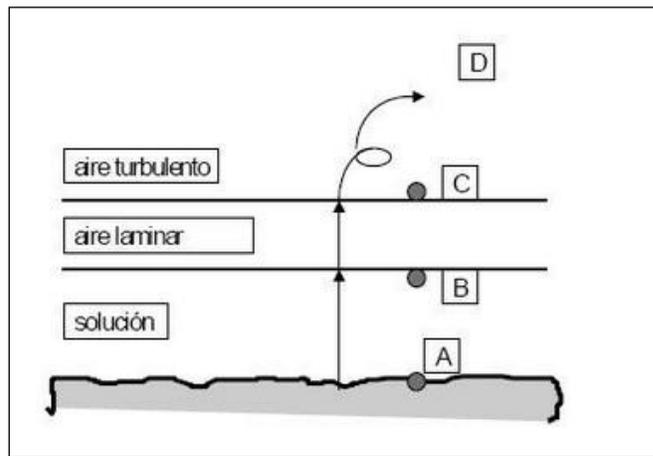
Las pinturas de naturaleza termoplástica exhiben un rápido secado. Además, el espesor final de la película tiene una relación directa con el contenido de sólidos en volumen del producto; se basan en materiales poliméricos de elevado peso molecular dado que las propiedades de la película seca en general son directamente proporcionales a este último. Sin embargo, el grado de polimerización está limitado por la solubilidad en las mezclas solventes usualmente empleadas en la industria de la pintura: se deben alcanzar adecuados contenidos de sólidos en volumen.

El curado es la etapa de formación de la película sólida, adherente, elástica y de buena resistencia de algunas pinturas, involucra además de la evaporación de los solventes, reacciones químicas de diferente complejidad con elementos del medio ambiente o con agentes que se incorporan a la formulación.

Pasos del proceso del secado:

- Difusión a través de la masa de líquido de A a B.
- Paso a la superficie líquida B.
- Difusión a través de la masa de aire laminar estático a la superficie del líquido de B a C.
- Evacuación en la región de aire turbulento D.

Figura 6. **Proceso de secado**



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas, Protección de Materiales. p. 20.

Finalizado el proceso de secado/curado se puede lograr una película brillante, semibrillante o mate con el fin de proteger y mejorar el aspecto general del sustrato.

#### 2.4.4. **Sólidos disueltos**

El total de sólidos disueltos es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma

molecular, ionizada o en forma de suspensión microgranular. En general, la definición operativa es que los sólidos deben ser lo suficientemente pequeños como para sobrevivir filtración a través de un filtro con poros de 2 micrómetros que es el tamaño nominal.

El total de sólidos disueltos se diferencia del total de sólidos en suspensión, ya que estos últimos se componen de sustancias que no pueden pasar a través de un filtro de dos micrómetros, aunque estos sean también suspendidos indefinidamente en una solución líquida. El término "sólidos sedimentables" se refiere a materiales de cualquier tamaño que no se mantienen suspendidos o disueltos en un tanque de retención que no está sujeto a movimiento, y por lo tanto, excluye a los sólidos disueltos y sólidos suspendidos, ya que los sólidos sedimentables pueden incluir partículas grandes o moléculas insolubles.



### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Las variables de monitoreo analizadas presentan la caracterización y evaluación de la pintura formulada a partir de compuestos puros y a partir de compuestos residuales.

##### 3.1.1. Propiedades fisicoquímicas de la pintura

A continuación se presentan las variables a analizar para realizar la caracterización fisicoquímica de la pintura, (tabla I).

Tabla I. **Variables evaluadas para la caracterización fisicoquímicas de la pintura**

No.	Variable	Unidad	Factor potencial de diseño		Tipo de variable	
			Constantes	No constante	Independiente	Dependiente
1	Volumen de pintura	mL	X		X	
2	Masa de pintura	g		X		X
4	Tiempo de flujo	s		X		X

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variables del análisis cuantitativo de la pintura

A continuación se presentan las variables a analizar para realizar la caracterización de las propiedades cuantitativas de la pintura, (tabla II).

Tabla II. **Variables evaluadas para la caracterización cuantitativa de las pinturas**

No.	Variable	Unidad	Factor potencial de diseño		Tipo de variable	
			Constantes	No constante	Independiente	Dependiente
1	Sólidos disueltos	g/g		X		X
2	Superficie cubierta	m <sup>2</sup>		X		X
3	Cantidad de pintura	g		X		X
4	Cantidad de disolvente residual	g		X		X
5	Tiempo de secado	s		X		X

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Variables del análisis cualitativo de la pintura

A continuación se presentan las variables a analizar para realizar la caracterización fisicoquímica de la pintura, (tabla III).

Tabla III. **Variable evaluada para la caracterización cualitativa de las pinturas**

No.	Variable	Unidad	Factor potencial de diseño		Tipo de variable	
			Constantes	No constante	Independiente	Dependiente
1	Tiempo de separación de la emulsión	min		X		X

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se realizó en el campo de la industria de pinturas, por lo que se estudió todo lo que conforma una pintura, tal como: solventes, diluyentes, resinas, pigmentos y aditivos.

#### 3.2.1. Área de conocimiento

Fundamento de conocimiento: química, química orgánica, fisicoquímica, transferencia de masa.

#### 3.2.2. Proceso

Formulación, evaluación y caracterización de la pintura con base en sus propiedades fisicoquímicas, cuantitativas y cualitativas, utilizando solventes residuales.

#### 3.2.3. Etapa del proceso

Elaboración de informe final sobre el trabajo de campo realizado.

#### **3.2.4. Ubicación**

La investigación se realizó en el laboratorio de desarrollo de pinturas y acabados para suelas de calzado, de la empresa Química Industrial Romana S. A., ubicada en la 10 calle 27-68 zona 4 de Mixco, El Naranjo, en el municipio de Mixco, Guatemala, Guatemala.

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

La experimentación y el tratamiento matemático de datos y su interpretación estuvo a cargo del investigador Obed Adoniram Orozco Escobar. Fue asistido de manera continua por el asesor, ingeniero químico Adrián Antonio Soberanis Ibáñez y el técnico laboratorista de la empresa Química Industrial Romana S. A.

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

A continuación se detallan los recursos materiales utilizados en la investigación de campo realizado, los cuales sirvieron en la generación de datos.

##### **3.4.1. Equipos auxiliares**

- Campana de extracción de gases
- Pistola de presión para pintado

### **3.4.2. Instrumentos de medición**

- Viscosímetro copa Zahn #4
- Termómetro
- Picnómetro 10 mL
- Cronómetro
- Balanza analítica, marca MyWeigh, modelo iBalance i5500
- Flexómetro

### **3.4.3. Cristalería**

- Vidrio de reloj
- Varilla de vidrio
- Beaker de 400 mL
- Beaker de 600 mL
- Beaker 50 mL

### **3.4.4. Reactivos**

- Thinner
- Tolueno
- Acetona
- Ciclohexanona
- Cloruro de metileno
- Resina PVC
- Colorante negro
- Pigmento negro
- Sílica

### **3.4.5. Materiales**

- Suela de calzado
- Cinta adhesiva

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

La metodología por medio de la cual se evaluó y caracterizó la pintura incluyó la aplicación de ambas técnicas, para el análisis de las propiedades fisicoquímicas y las propiedades finales de la pintura, se utilizó una técnica cualitativa; para el análisis de sólidos disueltos y rendimiento se empleó la técnica cuantitativa.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

A continuación se detallan los procedimientos que se realizaron para la obtención de datos a analizar en la presente investigación del trabajo de graduación.

#### **3.6.1. Metodología experimental para la formulación de la pintura**

Se establecieron los siguientes aspectos para el desarrollo de las pinturas que se analizaron.

- Establecer el tipo de pintura que se formuló (PVC)
- Establecer el porcentaje de disolvente residual utilizado
- Elaboración de la pintura según fórmula
- Envasar y almacenar para realizar las pruebas de caracterización

### **3.6.2. Metodología experimental para la obtención de la densidad de la pintura**

Los pasos a seguir para obtener los datos necesarios que permitan determinar la densidad de la pintura son los siguientes:

- Agitar el envase contenedor de la pintura
- Verter una muestra de pintura en el *beaker* de 50 mL
- Verter pintura hasta el aforo del picnómetro (10 mL)
- Tapar el picnómetro con la boquilla
- Colocar el picnómetro en la balanza previamente tarada
- Anotar la medición de la masa
- Realizar cuatro repeticiones

### **3.6.3. Metodología experimental para la obtención de la viscosidad de la pintura**

Para obtener los datos necesarios que permitan determinar la viscosidad de la pintura se deben seguir los siguientes pasos:

- Agitar el envase contenedor de la pintura
- Verter una muestra de pintura en un vaso contenedor de 500 mL
- Llenar de pintura la copa Zahn hasta el aforo
- Medir el tiempo de flujo y anotar el resultado
- Realizar cuatro repeticiones

#### **3.6.4. Metodología experimental para determinar la cantidad de sólidos disueltos en la pintura**

Seguir los siguientes pasos para obtener los datos necesarios que permitan determinar la cantidad de sólidos disueltos en la pintura:

- Agitar la pintura hasta que se vea homogénea.
- Verter una cantidad de masa en un vaso contenedor previamente tarado.
- Colocar el vaso contenedor en un horno a 60 °C durante 24 horas.
- Sacar el vaso contenedor del horno y medir la masa en una balanza analítica.
- Anotar el resultado.

#### **3.6.5. Metodología experimental para determinar el rendimiento de la pintura**

Los pasos a seguir para obtener los datos necesarios que permitan determinar el rendimiento de la pintura son los siguientes:

- Agitar la pintura hasta que se vea homogénea
- Verter 50 g de pintura en la pistola de pintado
- Seccionar una superficie en áreas de 310 cm<sup>2</sup>
- Pintar la superficie seccionada
- Medir el consumo de pintura y anotar el resultado
- Realizar cuatro repeticiones

### **3.6.6. Metodología experimental para determinar el tiempo de secado de la pintura**

Se deben seguir los siguientes pasos para obtener los datos necesarios que permitan determinar el tiempo de secado de la pintura:

- Agitar la pintura hasta que se vea homogénea
- Verter 50 g de pintura en la pistola de pintado
- Pintar una suela de calzado, al término iniciar a cronometrar
- Realizar prueba de huella cada 10 s
- Anotar el resultado
- Anotar el dato de la temperatura ambiente
- Anotar el dato de la humedad del ambiente
- Realizar cuatro repeticiones

### **3.6.7. Metodología experimental para determinar la adhesión de la pintura**

Seguir los siguientes pasos para obtener los datos necesarios que permitan determinar la adhesión de la pintura:

- Agitar el envase contenedor de pintura
- Tomar 50 g de pintura en la pistola
- Pintar una suela de calzado dejar secar
- Colocar una cinta adhesiva sobre la superficie pintada y frotar
- Retirar la cinta adhesiva de la superficie pintada
- Anotar observaciones

### **3.6.8. Metodología experimental para determinar el tiempo de separación de la dispersión**

Para obtener los datos necesarios que permitan determinar el tiempo de separación de la dispersión en la pintura se deben seguir los siguientes pasos:

- Agitar el envase contenedor de pintura.
- Verter una muestra de 100 g en un vaso contenedor de 250 mL y tapar.
- Almacenar la muestra etiquetándola con fecha y hora en un lugar adecuado.
- Observar la muestra cada 5 min y anotar las mismas.

### **3.6.9. Metodología experimental para determinar el poder de cobertura, colorimetría**

Los pasos a seguir para obtener los datos necesarios que permitan determinar el poder de cobertura de la pintura son los siguientes:

- Agitar el envase contenedor de pintura.
- Colocar una muestra de 50 g de pintura en la pistola.
- Pintar una superficie clara.
- Observar la intensidad de color en comparación con una muestra estándar y anotar observaciones.

### **3.6.10. Metodología experimental para determinar la resistencia a la flexión**

Seguir los siguientes pasos para obtener los datos necesarios que permitan determinar la resistencia a la flexión de la película de pintura:

- Agitar el envase contenedor de pintura.
- Verter 50 g de pintura en la pistola.
- Pintar una suela de superficie y dejar secar durante 10 min.
- Colocar la suela en el flexómetro y realizar pruebas con ciclos de 5 000 flexiones Russ.
- Al término colocar una cinta adhesiva sobre la superficie de la suela, frotar y luego retirar.
- Realizar y anotar observaciones.

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

A continuación se detalla cómo se llegó a obtener el valor de las variables estudiadas en el presente trabajo.

#### **3.7.1. Propiedades fisicoquímicas**

Los datos obtenidos se tabularon en una tabla comparativa, las comparaciones fueron entre la pintura formulada con compuestos puros, y la pintura formulada con porcentaje de compuestos residuales.

Para obtener los resultados se utilizaron las siguientes ecuaciones:

### 3.7.1.1. Densidad

Es la relación entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Su incerteza

$$\Delta\rho = \frac{1}{V} * \Delta m + \frac{m}{V^2} * \Delta V \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde

$\rho$  = densidad [g/mL]

$m$  = masa [g]

$V$  = volumen [mL]

$\Delta\rho$  = incerteza densidad [g/mL]

$\Delta m$  = incerteza masa [g]

$\Delta V$  = incerteza volumen [mL]

### 3.7.1.2. Viscosidad cinemática

Es la resistencia que presenta un fluido a fluir, en la investigación se utilizó una copa Zahn # 4, donde la variable independiente es el tiempo medido en segundos, siendo la ecuación que la gobierna la siguiente.

$$v = 13,26t - \frac{673}{t} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Su incerteza

$$\Delta v = \left(13,26 + \frac{673}{t^2}\right) * \Delta t \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde

$v$  = viscosidad [cSt]

$t$  = tiempo [s]

$\Delta v$  = incerteza viscosidad [cSt]

$\Delta t$  = incerteza tiempo [s]

### 3.7.2. Propiedades cuantitativas

Los datos obtenidos se tabularon en una tabla comparativa, las comparaciones fueron entre la pintura formulada con compuestos puros, y la pintura formulada con porcentaje de compuestos residuales.

Entre estas propiedades se mide el porcentaje de sólidos disueltos y el rendimiento de la pintura, las ecuaciones se detallan a continuación.

#### 3.7.2.1. Porcentaje sólidos disueltos

Es la cantidad de sólidos que se encuentran en emulsión en la pintura y se define:

$$\%SD = \frac{m_f}{m_i} * 100 \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Su incerteza

$$\Delta\%SD = \left( \frac{\Delta m_f}{m_i} + \frac{m_f}{m_i^2} * \Delta m_i \right) * 100 \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Donde

$\%SD$  = porcentaje de sólidos disueltos [%]

$m_f$  = masa final [g]

$m_i$  = masa inicial [g]

$\Delta\%SD$  = incerteza porcentaje de sólidos disueltos [%]

$\Delta m_f$  = incerteza masa final [g]

$\Delta m_i$  = incerteza masa inicial [g]

### 3.7.2.2. Rendimiento de pintura

Se define como la cantidad de pintura que se requiere para pintar el área de una superficie dada.

$$R = \frac{m_{ut}}{A_{pin}} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Su incerteza

$$\Delta R = \frac{\Delta m_{ut}}{A_{pin}} + \frac{m_{ut}}{A_{pin}^2} * \Delta A_{pin} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

Donde

$R$  = rendimiento [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]

$m_{ut}$  = masa utilizada [g]

$A_{pin}$  = área pintada [ $\text{m}^2$ ]

$\Delta R$  = incerteza rendimiento [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]

$\Delta m_{ut}$  = incerteza masa utilizada [g]

$\Delta A_{pin}$  = incerteza área pintada [ $\text{m}^2$ ]

### 3.7.3. Propiedades cualitativas

Los datos obtenidos se tabularon en una tabla comparativa, las comparaciones fueron entre la pintura formulada con compuestos puros y la pintura formulada con porcentaje de compuestos residuales.

En esta sección, los resultados obtenidos fueron mediciones directas de tiempo y las conclusiones, tales como: buena, regular y mala.

### 3.8. Análisis estadístico

Se realizó para determinar la medida del error humano en las mediciones, para ello se utilizaron las ecuaciones dadas a continuación:

#### 3.8.1. Media

Es el promedio de las mediciones realizadas y se define con la ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \text{[Ecuación 12]}$$

Donde

$\bar{x}$  = media

$x_i$  = dato i

N = número total de datos tomados

#### 3.8.2. Varianza

Es la medida del cuadrado de la variación de la variable en cuestión, respecto a su media se define:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

Donde

$s^2$  = varianza

$\bar{x}$  = media

$x_i$  = dato i

N = número total de datos tomados

### 3.8.3. Desviación estándar

Es la medida de la desviación de la variable medida respecto a la media, se define como la raíz cuadrada de la varianza.

$$s = \sqrt{s^2} \quad \text{[Ecuación 14]}$$

Donde

$s^2$  = varianza

s = desviación estándar

### 3.8.4. Coeficiente de variación

Es el porcentaje de qué tanto se aleja un dato medido respecto a la media.

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad \text{[Ecuación 15]}$$

Donde

$cv$  = coeficiente de variación

$s$  = desviación estándar

$\bar{x}$  = media

Asimismo al investigar tres muestras o tratamientos distintos se utilizó el análisis de varianza para realizar una comparación entre las variables medidas, que le diera al investigador un criterio para analizar los resultados obtenidos, así como para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

El criterio de Fisher se realizó con un intervalo de confianza del noventa y cinco por ciento, y debido a que el número de repeticiones por tratamiento fueron cuatro, la suma de todos los grupos fue de doce, lo que dio como resultado que los grados de libertad sean nueve al aplicar el criterio de Fisher, también en el caso de los tratamientos fueron tres, por lo que los grados de libertad fueron dos. Para aceptar o rechazar una hipótesis se basa en el criterio que el valor numérico de la prueba de Fisher debe ser menor o igual al valor numérico de la prueba de Fisher dada en tablas o crítica ( $F \leq F_T$ ).

### 3.8.5. Análisis de varianza (Anova)

Se determina el valor comparativo de las varianzas para los datos calculados mediante las siguientes ecuaciones las cuales son el método de la suma de cuadrados.

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{T_r^2}{nk} \quad [\text{Ecuación 16}]$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T_r^2}{nk} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

$$SSE = SST - SSA$$

[Ecuación 18]

Donde

SSA = suma de cuadrados de los tratamientos

SST = suma de cuadrados total

SSE = suma de cuadrados del error

$T_r$  = total de tratamientos

$T_i$  = tratamientos bloque i

$Y_{ij}$  = dato ij de las muestras analizadas

k = número de tratamientos

n = número total de datos de los diferentes tratamientos

Tabla IV. **Tabla resumen análisis Anova y grados de libertad**

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Entre muestras	SSA	k-1	$s_1^2 = \frac{SSA}{k-1}$ [Ecuación 19]	$F = \frac{s_1^2}{s^2}$ [Ecuación 21]
Dentro de muestras	SSE	n(k-1)	$s^2 = \frac{SSE}{n(k-1)}$ [Ecuación 20]	
Total	SST	nk-1		$F_C = F_{k-1, n-k}$ [Ecuación 22]

Fuente: Área de estadística, Fiusac.

Donde

$s_1^2$  = varianza de los tratamientos

$s^2$  = varianza

F = Fisher calculada

$F_C$  = Fisher datos tabulados

### **3.9. Plan de análisis de resultados**

A continuación se presenta el plan con el que se analizaron los resultados obtenidos en la investigación.

#### **3.9.1. Caracterización de la pintura**

Los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades y características de la pintura formulada con solventes residuales se compararon con los de la pintura formulada con solventes puros, y se determinó si es aceptable o no la utilización de solventes residuales para la formulación de pinturas.

Los resultados del análisis de varianza brindaron un criterio al investigador, pero en ningún caso fueron criterios concluyentes, debido a que se analizaron factores cualitativos de las pinturas, así como características en su aplicación final, la cual es pintar suela de calzado; donde los resultados no son datos numéricos.

#### **3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos**

Para la tabulación, manipulación y análisis estadístico de los datos se utilizó Microsoft Office Excel 2013, debido a la facilidad de uso.



## 4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la investigación, ver tabla V.

Tabla V. **Comparativa de las pinturas para el acabado de suela de calzado, según formulación**

	Pintura formulada a base de solventes puros	Pintura formulada a base de solventes residuales	Pintura que incluye solvente residual en su formulación
Fórmula	Ciclohexanona ..... 10,5 % Resina PVC... 4,5 % Mateante..... 7 % Acetona..... 30 % Tolueno..... 30 % Cloruro de metileno ..... 15 % Pigmento negro 2 % Colorante negro 1 %	Solventes residuales .....100 %	Solventes residuales.....53 % Resina PVC.....2 % Mateante.....7 % Acetona.....35 % Pigmento negro .....2 % Colorante negro .....1 %
$\rho$ (g/mL)	0,8395 $\pm$ 0,0430	0,8659 $\pm$ 0,0443	0,8305 $\pm$ 0,0425
$v$ (cSt)	78,50 $\pm$ 0,96	96,75 $\pm$ 0,91	90,75 $\pm$ 0,93
%SD (%)	10,56 $\pm$ 0,056	13,21 $\pm$ 0,081	11,5 $\pm$ 0,070
R (g/m <sup>2</sup> )	312,90 $\pm$ 6,66	290,32 $\pm$ 6,30	288,71 $\pm$ 6,27
TS (s)	11,125 $\pm$ 0,05	24,20 $\pm$ 0,05	14,025 $\pm$ 0,05
AS	Buena adhesión	Mala adhesión	Buena adhesión
TSD (min)	20,00 $\pm$ 0,05	12,00 $\pm$ 0,05	17,00 $\pm$ 0,05
IC	Regular intensidad	Mala intensidad	Buena intensidad
RF	Buena resistencia (60 000 flexiones Russ)	Mala resistencia (15 000 flexiones Russ)	Buena resistencia (60 000 flexiones Russ)

Fuente: elaboración propia, con base a las ecuaciones 4-11.

A continuación, en la tabla VI se presentan los resultados de los coeficientes de variación en los datos medidos en la investigación.

Tabla VI. **Coeficientes de variación para las diferentes propiedades estudiadas**

Variable	Pintura formulada a base de solventes puros		Pintura formulada a base de solventes residuales		Pintura que incluye solvente residual en su formulación	
	Media	cv (%)	media	cv (%)	media	cv
$\rho$ (g/mL)	0,8395	0,90	0,8659	0,71	0,8305	1,08
$v$ (cSt)	78,50	4,35	96,75	1,56	90,75	6,26
$R$ (g/m <sup>2</sup> )	312,90	1,88	290,32	0,91	288,71	1,44
TS (s)	11,125	3,23	24,20	1,10	14,025	4,89

Fuente: elaboración propia, con base a las ecuaciones 12-15.

A continuación, en la tabla VII se presenta el análisis ANOVA para las muestras estudiadas.

Tabla VII. **Análisis de varianza de las propiedades entre las diferentes pinturas estudiadas**

Variable	Análisis de varianza entre las diferentes muestras de pinturas estudiadas		Criterio	Conclusión
	F	$F_C$		
$\rho$ (g/mL)	23,0793	4,2565	$F \leq F_C$	Se acepta $(H_i)_1$
$v$ (cSt)	22,4892	4,2565	$F \leq F_C$	Se acepta $(H_i)_2$
$R$ (g/m <sup>2</sup> )	37,2353	4,2565	$F \leq F_C$	Se acepta $(H_i)_3$
TS (s)	850,8158	4,2565	$F \leq F_C$	Se acepta $(H_i)_4$

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal del presente trabajo de graduación fue determinar si resultaría viable la reutilización de solventes residuales formulando una pintura en cuanto a calidad y resultados de aplicación final se refiere, en este caso, pintar suelas de calzado. Para ello se realizaron evaluaciones a tres distintas pinturas, las cuales fueron: formulada a base de solventes puros, formulada a base de solventes residuales y una que contiene un porcentaje de solventes residuales en su formulación.

En la tabla comparativa (tabla V) se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a cada una de las tres distintas pinturas; siendo estas pruebas las siguientes: densidad, viscosidad, porcentaje de sólidos disueltos, rendimiento, tiempo de secado, adhesión a la superficie, tiempo de separación de la dispersión, intensidad de color y resistencia a la flexión; a continuación se analiza cada una de ellas.

En principio se analizará la formulación de las tres diferentes pinturas, según se observa en la tabla V, los compuestos utilizados en cada una de las pinturas es distinto; en la pintura formulada a base de solventes puros se utilizó resina de PVC cuya función es aglutinante, como disolvente se utilizó el compuesto ciclohexanona, como aditivo se empleó mateante que opaca el brillo de la pintura en su aplicación final, el compuesto cloruro de metileno se utilizó para mejorar la dispersión; los compuestos tolueno y acetona se emplearon como diluyentes, y se escogió el color negro a conveniencia, debido a que los solventes residuales están sucios, por lo que solo se pueden utilizar en colores oscuros y para tener una comparativa se escogió dicho color.

En la pintura formulada a base de solventes residuales se utilizó la mezcla de solventes sucios que se generan en el lavado y purgas de las máquinas de pintado industrial y residuos de pinturas sobrantes en producción, estos compuestos se almacenan en un envase específico y cabe destacar que no se separan por tipo de compuesto, por lo que contiene residuos de resinas de poliuretano, polivinilo de cloruro, solventes, diluyentes y aditivos.

Para la pintura que incluye un porcentaje de solventes residuales en su formulación, se encontró el porcentaje óptimo en 53 %; se llegó a ese porcentaje después de una serie de pruebas variando los porcentajes en cada una de ellas; se determinó como óptimo, ya que a un porcentaje mayor de solvente residual, la pintura presentó carencias en la prueba de adhesión y flexión.

Al comparar las diferentes propiedades evaluadas entre la pintura formulada a base de solventes puros y de la que incluye cierto porcentaje de solventes residuales en su formulación, se obtuvo que los valores de la densidad no difieren significativamente una de otra, aunque el porcentaje de sólidos en la pintura con solventes residuales es mayor; por lo que la densidad va a depender de los compuestos individuales que componen la pintura y no únicamente de los sólidos en dispersión.

Comparando la viscosidad difieren una de otra, pero no afectó al momento de su aplicación final, dado que mientras más viscosa sea una pintura, al momento de su aplicación con pistola provocará una textura rugosa conocida como piel de naranja, por lo que las viscosidades obtenidas se consideran aceptables; asimismo, la adhesión a la superficie y resistencia a la flexión que presentaron ambas pinturas fue aceptable debido a que no se desprendió ni se rajó la película de pintura después de quitar la cinta adhesiva antes y después

de someter al flexómetro la suela pintada, estas propiedades dependen únicamente de la resina o aglutinante utilizado.

El rendimiento de la pintura con solventes residuales fue mejor que la pintura formulada solo con solventes puros, ya que se empleó menos masa de pintura para pintar un área definida; de igual forma la prueba de intensidad del color presentó el mismo comportamiento, como se aprecia en la tabla V; esto se dio debido a que la pintura que solo tiene solventes residuales, también tiene residuos de pigmentos y colorantes en la mezcla, por lo que contiene una base de sólidos dispersos, mientras que la pintura formulada con solventes puros, contiene únicamente el porcentaje dado en la fórmula, por lo que la concentración de pigmento y colorante es menor que la pintura que contiene solventes residuales. Al momento de agregarle más pigmento y colorante para ajustar el color en la pintura que contiene solventes residuales, se aumentó la concentración de compuestos colorantes teniendo como resultado una mejor cobertura lo que significa mejor rendimiento e intensidad en el color.

Con respecto al tiempo de secado y el tiempo de la separación de la dispersión difieren una de otra, siendo la pintura con solventes residuales la que seca más lento y se separa o asienta más rápido, siendo la diferencia de dos segundos y tres minutos respectivamente, esto en una línea de producción no afecta significativamente dado que el producto pintado se pasa por un horno, y el contenedor de pintura se mantiene en constante agitación, por lo que los resultados obtenidos son aceptables.

Los resultados de las pruebas realizadas a la pintura formulada solo de solventes residuales no fueron aceptables, las pruebas principales, por las que se determinó esto, fueron las de aplicación final, siendo estas la adhesión y la resistencia a la flexión debido a que la película de pintura se desprendió y rajó;

esto se le atribuye a la mezcla de resinas y otros componentes que hacen que la película al secarse tenga una consistencia rígida. De igual forma en las demás pruebas realizadas, difieren de los resultados obtenidos en la evaluación de la pintura formulada a base de compuestos puros; por lo que no fue viable utilizar la mezcla de solventes residuales como tal.

En la tabla VI se presentan los coeficientes de variación en la toma de datos, dicha variación es el error humano que se introduce al momento de hacer una repetición de medición bajo las mismas condiciones, se observa que los valores no sobrepasan el diez por ciento, por lo que el error humano en la toma de datos no es significativo.

El análisis de varianza se realizó para brindar al investigador un criterio al término de la evaluación, pero en ninguna manera fue para determinar una conclusión con respecto a los objetivos de la investigación; en la tabla VII se muestran las comparaciones de las varianzas obtenidas entre las tres distintas pinturas; las varianzas entre cada prueba realizada entre las tres diferentes pinturas dan una diferencia significativa y dado que la prueba calculada no está dentro del rango de aceptación tomando un intervalo de confianza del noventa y cinco por ciento; se rechazan las hipótesis nulas y se aceptan las hipótesis alternativas, ya que al cambiar los compuestos en cada formulación cambiarán significativamente las propiedades y características analizadas en cada pintura.

Con respecto a los resultados obtenidos en el análisis de varianza se comprueba que, aunque difieran las propiedades entre las tres distintas pinturas en el caso de densidad, viscosidad, rendimiento y tiempo de secado, las variables concluyentes son las cualitativas, tales como adhesión, resistencia a la flexión y colorimetría.

## CONCLUSIONES

1. Es factible utilizar la mezcla de solventes residuales para formular una pintura sin que las propiedades y características de esta se vean afectadas al utilizarla en el acabado de suela de calzado.
2. El porcentaje óptimo de la mezcla de solventes residuales que se puede utilizar para formular una pintura sin que esta presente carencias en las propiedades y características es del 53 %.
3. El porcentaje de sólidos disueltos en la pintura formulada con 53 % de solventes residuales fue un 8,92 % mayor al porcentaje de sólidos disueltos en la pintura formulada con solventes puros, esto no afectó en las características y propiedades deseadas al momento de aplicarla en la suela de calzado.
4. La densidad de la pintura formulada con el 53 % de solventes residuales fue un 1,07 % mayor que la densidad en la pintura formulada con solventes puros, por lo que la densidad no depende únicamente de la cantidad de sólidos que contiene cada pintura, sino de cada componente individual presente en la formulación.
5. Al aplicar las dos distintas pinturas en la suela de calzado, la superficie no presentó rugosidad sino que presentó una capa uniforme y lisa, por lo que la viscosidad de las pinturas fue aceptada dado que es la característica que controla dicho efecto en la superficie.

6. La capacidad de cobertura y el rendimiento son características que se relacionan directamente, para la pintura formulada con el 53 % de solventes residuales ambas características presentaron una mejora de un 7,73 %, con respecto a la pintura formulada con solventes puros, por lo que se necesita menos cantidad de pintura para pintar un área determinada.
7. El tiempo de secado y separación de la dispersión difiere un 25 % en ambos casos entre la pintura formulada con solventes puros y la pintura formulada con un 53 % de solventes residuales, esta diferencia no afectó al aplicar la pintura en la suela de calzado.
8. La pintura formulada con un 53 % de compuestos residuales no presentó carencias en los resultados de aplicación de la misma, presentando buena adhesión a la superficie y resistencia a la flexión.
9. No se puede formular una pintura utilizando solamente los solventes residuales, debido a que presenta carencias significativas en las propiedades y características en comparación a la pintura formulada con solventes puros.
10. La pintura formulada utilizando solamente los solventes residuales se puede utilizar en un porcentaje del 53 % en la formulación de una nueva pintura.

## RECOMENDACIONES

1. Determinar y cuantificar las sustancias que componen la mezcla de solventes residuales mediante un análisis instrumental.
2. Realizar un estudio a nivel económico para determinar el costo real de utilizar la mezcla de solventes residuales y evaluar la viabilidad de la utilización en la formulación de la pintura.
3. Utilizar los solventes residuales únicamente en la formulación de pinturas de color oscuro, de preferencia el color negro.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BONGIOVANNI, R. *Progress in Organic Coatings*. 45a ed. EE. UU.: Elsevier, 2002. 100 p.
2. BROCK, T., GOTEKLAES, M., MISCHKE, P. *European Coatings Handbook*. 2a ed. Alemania: Vincentz Verlag, 1999. 432 p.
3. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPINT), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Argentina. *Protección de materiales*. [en línea] <<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/>> [Consultado: 2 de mayo de 2015].
4. CHANG, Raymond. *Química*. 10a ed. México: McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-607-15-0307-7. 1085 p.
5. FIUSAC, Área de Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala. *Formulario Estadística 2*. [en línea] <<http://www.estadistica.ingenieria.usac.edu.gt>> [Consultado: 10 de julio de 2015].
6. HARE, C. *Protective Coatings*. 2a ed. EE. UU.: SSPC (The Society for Protective Coatings), 2003. 80 p.
7. LAMBOURNE, R. *Paint and Surface Coatings. Theory and Practice*. 2a ed. Inglaterra: E. Horwood Limited Editorial, 1999. 800 p.

8. PAUL, S. *Surface Coatings-Science and Technology*. 2a ed. EE. UU.: John Wiley and Sons, 1997. 100 p.

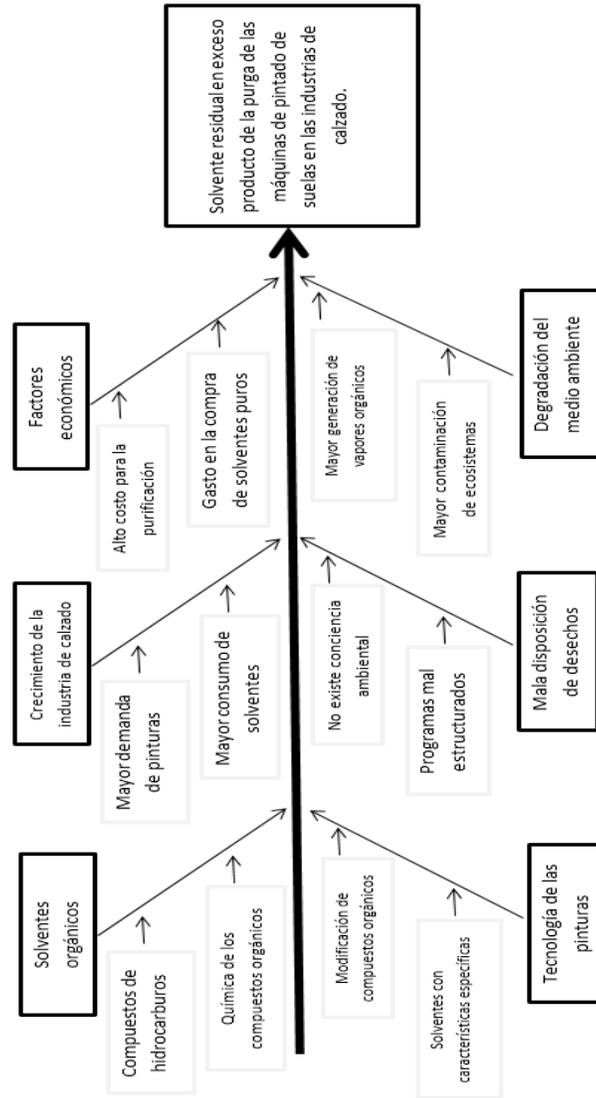
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Área	Curso	Temática
Ingeniería Química	Área de Química	Química 3	Estequiometría.
		Química 4	Expresión de concentraciones.
		Química Orgánica 1	Caracterización de hidrocarburos
		Química Orgánica 2	Compuestos bencénicos, ramificación de hidrocarburos.
	Área de Físicoquímica	Físicoquímica 1	Equilibrio de fases.
		Laboratorio de Físicoquímica 1	Diseño experimental de una investigación, determinación viscosidad y densidad.
	Área de Operaciones Unitarias	Transferencia de Masa	Difusión, secado
	Área de Ciencias Básicas y Complementarias	Estadística 1	Estadística descriptiva.
		Estadística 2	Análisis de varianza

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Tabulación de datos obtenidos

A continuación se presentan los datos obtenidos en el estudio de la pintura formulada a base de compuestos puros.

Tabulación de datos de pintura utilizando compuestos puros								
Densidad								
m (g)	V (mL)	p (g/mL)	$\Delta p$ (g/mL)	media p (g/mL)	media $\Delta p$ (g/mL)	s <sup>2</sup>	s	cv
41,90	50,0	0,838	0,0429	0,8395	0,0430	0,0001	0,0075	0,8993
42,50	50,0	0,850	0,0435					
41,90	50,0	0,838	0,0429					
41,60	50,0	0,832	0,0426					
Viscosidad								
t (s)	v (cSt)	$\Delta v$ (cSt)	media v (cSt)	media $\Delta v$ (cSt)	s <sup>2</sup>	s	cv	
10,90	83,0	0,9462	78,5000	0,9585	11,6667	3,4157	4,3511	
10,60	77,0	0,9625						
10,70	79,0	0,9569						
10,50	75,0	0,9682						
Sólidos disueltos								
mi (g)	mf (g)	%SD	$\Delta\%SD$					
98,50	10,40	10,558	0,056					

Continuación del apéndice 3.

Rendimiento								
A (m <sup>2</sup> )	Cantidad pintura (g)	R (g/m <sup>2</sup> )	ΔR (g/m <sup>2</sup> )	media R (g/m <sup>2</sup> )	media ΔR (g/m <sup>2</sup> )	s <sup>2</sup>	s	cv
0,031	9,8000	316,1290	6,7118	312,9032	6,6597	34,68	5,88	1,88
0,031	9,6000	309,6774	6,6077					
0,031	9,5000	306,4516	6,5557					
0,031	9,9000	319,3548	6,7638					
Tiempo de secado								
TS (s)	ΔTS (s)	media TS (s)	media ΔTS (s)	s <sup>2</sup>	s	cv		
10,9	0,05	11,125	0,05	0,1291	0,36	3,230		
11,2	0,05							
11,6	0,05							
10,8	0,05							
AS		TSE (min)	IC		RF			
Buena adhesión		20 min	Buena intensidad		buena resistencia, 60000 Flexiones Russ			

Fuente: elaboración propia, con base en las ecuaciones 4-15.

#### Apéndice 4. Tabulación de datos obtenidos

A continuación se presentan los datos obtenidos en el estudio de la pintura formulada a base de compuestos residuales.

Tabulación de datos de pintura utilizando compuestos residuales								
Densidad								
m (g)	V (mL)	p (g/mL)	$\Delta p$ (g/mL)	media p (g/mL)	media $\Delta p$ (g/mL)	s <sup>2</sup>	s	cv
43,54	50,00	0,87	0,04	0,87	0,04	0,00	0,01	0,71
43,57	50,00	0,87	0,04					
42,98	50,00	0,86	0,04					
43,08	50,00	0,86	0,04					
Viscosidad								
t (s)	v (cSt)	$\Delta v$ (cSt)	media v (cSt)	media $\Delta v$ (cSt)	s <sup>2</sup>	s	cv	
11,50	95,00	0,92	96,75	0,91	2,25	1,50	1,55	
11,80	98,00	0,90						
11,80	98,00	0,90						
11,60	96,00	0,91						
Sólidos disueltos								
mi (g)	mf (g)	%SD	$\Delta\%SD$					
70	9,25	13,21	0,00081					

Continuación del apéndice 4.

<b>Rendimiento</b>								
A (m <sup>2</sup> )	Cantidad pintura (g)	R (g/m <sup>2</sup> )	ΔR (g/m <sup>2</sup> )	media R (g/m <sup>2</sup> )	media ΔR (g/m <sup>2</sup> )	s <sup>2</sup>	s	cv
0,03	8,90	287,10	6,24	290,32	6,30	6,94	2,63	0,91
0,03	9,00	290,32	6,30					
0,03	9,10	293,55	6,35					
0,03	9,00	290,32	6,30					
<b>Tiempo de secado</b>								
TS (s)	ΔTS (s)	media TS (s)	media ΔTS (s)	s <sup>2</sup>	s	cv		
24,30	0,05	24,20	0,05	0,07	0,26	1,07		
23,90	0,05							
24,10	0,05							
24,50	0,05							
<b>AS</b>		<b>TSE (min)</b>	<b>IC</b>		<b>RF</b>			
mala adhesion		12 min	mala intensidad		mala resistencia, 15000 Flexiones Russ			

Fuente: elaboración propia, con base en las ecuaciones 4-15

## Apéndice 5. Tabulación de datos obtenidos

A continuación, se presentan los datos obtenidos en el estudio de la pintura que incluye compuestos residuales en su formulación.

<b>Tabulación de datos de pintura que incluye compuestos residuales</b>								
<b>Densidad</b>								
m (g)	V (mL)	p (g/mL)	$\Delta p$ (g/mL)	media p (g/mL)	media $\Delta p$ (g/mL)	$s^2$	s	cv
41,90	50,00	0,84	0,04	0,83	0,04	0,00	0,01	1,08
40,90	50,00	0,82	0,04					
41,50	50,00	0,83	0,04					
41,80	50,00	0,84	0,04					
<b>Viscosidad</b>								
t (s)	v (cSt)	$\Delta v$ (cSt)	media v (cSt)	media $\Delta v$ (cSt)	$s^2$	s	cv	
11,10	87,00	0,94	90,75	0,93	32,25	5,68	6,26	
11,30	90,00	0,93						
11,20	99,00	0,93						
11,10	87,00	0,94						
<b>Sólidos disueltos</b>								
mi (g)	mf (g)	%SD	$\Delta\%SD$					
80	9,2	11,5	0,00070					

Continuación del apéndice 5.

<b>Rendimiento</b>								
A (m <sup>2</sup> )	Cantidad pintura (g)	R (g/m <sup>2</sup> )	ΔR (g/m <sup>2</sup> )	media R (g/m <sup>2</sup> )	media ΔR (g/m <sup>2</sup> )	s <sup>2</sup>	s	cv
0,03	9,00	290,32	6,30	288,71	6,27	17,34	4,16	1,44
0,03	8,90	287,10	6,24					
0,03	9,10	293,55	6,35					
0,03	8,80	283,87	6,19					
<b>Tiempo de secado</b>								
TS (s)	ΔTS (s)	media TS (s)	media ΔTS (s)	s <sup>2</sup>	s	cv		
13,20	0,05	14,03	0,05	0,47	0,68	4,88		
14,80	0,05							
13,80	0,05							
14,30	0,05							
<b>AS</b>		<b>TSE (min)</b>	<b>IC</b>		<b>RF</b>			
Buena adhesión		15 min	Buena intensidad		buena resistencia, 60000 Flexiones Russ			

Fuente: elaboración propia, con base en las ecuaciones 4-15.

## Apéndice 6. Tabulación del análisis de varianza

A continuación se presenta el análisis de varianza para la variable densidad de las pinturas.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	4	3,463	0,8658	3,7477E-05		
Columna 2	4	3,358	0,8395	5,7E-05		
Columna 3	4	3,322	0,8305	8,1E-05		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,002700	2	0,001350	23,0793	0,0002863	4,25649
Dentro de los grupos	0,000526	9	0,000058			
Total	0,003226	11				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Excel 2013.

## Apéndice 7. Tabulación del análisis de varianza

A continuación se presenta el análisis de varianza para la variable viscosidad de las pinturas.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	4	387	96,75	2,25		
Columna 2	4	314	78,50	11,66		
Columna 3	4	363	90,75	32,25		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	692,166	2	346,08333	22,4891	0,00031558	4,25649
Dentro de los grupos	138,5	9	15,388888			
Total	830,66666	11				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Excel 2013.

Apéndice 8. **Tabulación del análisis de varianza**

A continuación se presenta el análisis de varianza para la variable rendimiento de las pinturas.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	4	1161,290	290,322581	6,937218		
Columna 2	4	1251,612	312,903226	34,68609		
Columna 3	4	1154.,838	288,709677	17,34304		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1463,7530	2	731,87651	37,2352	4,438E-05	4,25649
Dentro de los grupos	176,89906	9	19,655451			
Total	1640,6521	11				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Excel 2013.

## Apéndice 9. Tabulación del análisis de varianza

A continuación se presenta el análisis de varianza para la variable tiempo de secado de las pinturas.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	4	96,8	24,2	0,066666		
Columna 2	4	44,5	11,125	0,129166		
Columna 3	4	56,1	14,025	0,469166		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	377,195	2	188,5975	850,815	5,5576E-11	4,2564
Dentro de los grupos	1,995	9	0,22166667			
Total	379,19	11				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Excel 2013.

# ANEXOS

Anexo 1. Tabla de distribución F de Fischer



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Área de Estadística  
Coordinación



Valores críticos de la distribución F de Fisher  
 $\alpha = 0.10$

V <sub>2</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.32
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.11
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46
31	2.87	2.48	2.27	2.14	2.04	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.77	1.71	1.66	1.63	1.60	1.56	1.53	1.49	1.45
32	2.87	2.48	2.26	2.13	2.04	1.97	1.91	1.87	1.83	1.81	1.76	1.71	1.65	1.62	1.59	1.56	1.52	1.48	1.44
33	2.86	2.47	2.26	2.12	2.03	1.96	1.91	1.86	1.83	1.80	1.75	1.70	1.64	1.61	1.58	1.55	1.51	1.47	1.43
34	2.86	2.47	2.25	2.12	2.02	1.96	1.90	1.86	1.82	1.79	1.75	1.69	1.64	1.61	1.58	1.54	1.50	1.46	1.42
35	2.85	2.46	2.25	2.11	2.02	1.95	1.90	1.85	1.82	1.79	1.74	1.69	1.63	1.60	1.57	1.53	1.50	1.46	1.41
36	2.85	2.46	2.24	2.11	2.01	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.73	1.68	1.63	1.60	1.56	1.53	1.49	1.45	1.40
37	2.85	2.45	2.24	2.10	2.01	1.94	1.89	1.84	1.81	1.78	1.73	1.68	1.62	1.59	1.56	1.52	1.48	1.44	1.40
38	2.84	2.45	2.23	2.10	2.01	1.94	1.88	1.84	1.80	1.77	1.72	1.67	1.61	1.58	1.55	1.51	1.48	1.44	1.39
39	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.88	1.83	1.80	1.77	1.72	1.67	1.61	1.58	1.55	1.51	1.47	1.43	1.38
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29
100	2.76	2.36	2.14	2.00	1.91	1.83	1.78	1.73	1.69	1.66	1.61	1.56	1.49	1.46	1.42	1.38	1.34	1.28	1.22
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19
inf	2.71	2.30	2.08	1.95	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.03

Fuente: Departamento de Estadística, Facultad de Ingeniería, USAC.

## Anexo 2. Extracto manual viscosímetro

**EZ™ ZAHN (ASTM) DIP CUPS  
CUP #4**

**CONVERSION FORMULAS AND TABLE<sup>®</sup>**

EZ™ viscosity cups are designed to comply with requirements of ASTM D 4212 and to take advantage of design changes known to provide best possible results. Cup dimensions are carefully controlled and cup calibration conditions comply with ISO/IEC 17025: 2005 as applicable. Standard viscous oils traceable to the National Institute of Standards and Technology are used in calibration procedures to insure specified efflux time tolerance.

Use this formula derived by Paul N. Gardner Company research to find viscosity (V) in centistokes when cup efflux time in seconds (T) is known:

$$V = 13.26T - (673 \div T)$$

Use this formula to find cup efflux time in seconds (T) when viscosity (V) in centistokes is known:

$$T = (V + \sqrt{V^2 + 35696}) \div 26.52$$

Results from the above formulas, solved for each tenth of a second within the cup range, are shown on the reverse side of this page. To find centistoke viscosity for a given cup efflux time in seconds, read down the column on the left to find the nearest second. Then, read to the right to the nearest tenth of a second column to find centistoke value. The chart may be read in reverse to find efflux time seconds when viscosity is known.

The EZ™ series of five viscosity cups are produced, calibrated and sold only by the Paul N. Gardner Company and licensed agents.

©Copyright 1987, Paul N. Gardner Company

---

**Paul N. Gardner Company, Inc.**  
316 N.E. 1st Street, POMPANO BCH, FL 33060  
1-800-762-2478 • (954) 946-9454 • FAX (954) 946-9309

25

Fuente: Manual Paul N. Gardner Company, Inc.

### Anexo 3. Datos tabulados viscosímetro

**EZ™ VISCOSITY CUP #4**  
**EFFLUX TIME - CENTISTOKES CONVERSION TABLE®**

(Accurate for True Liquids Only)

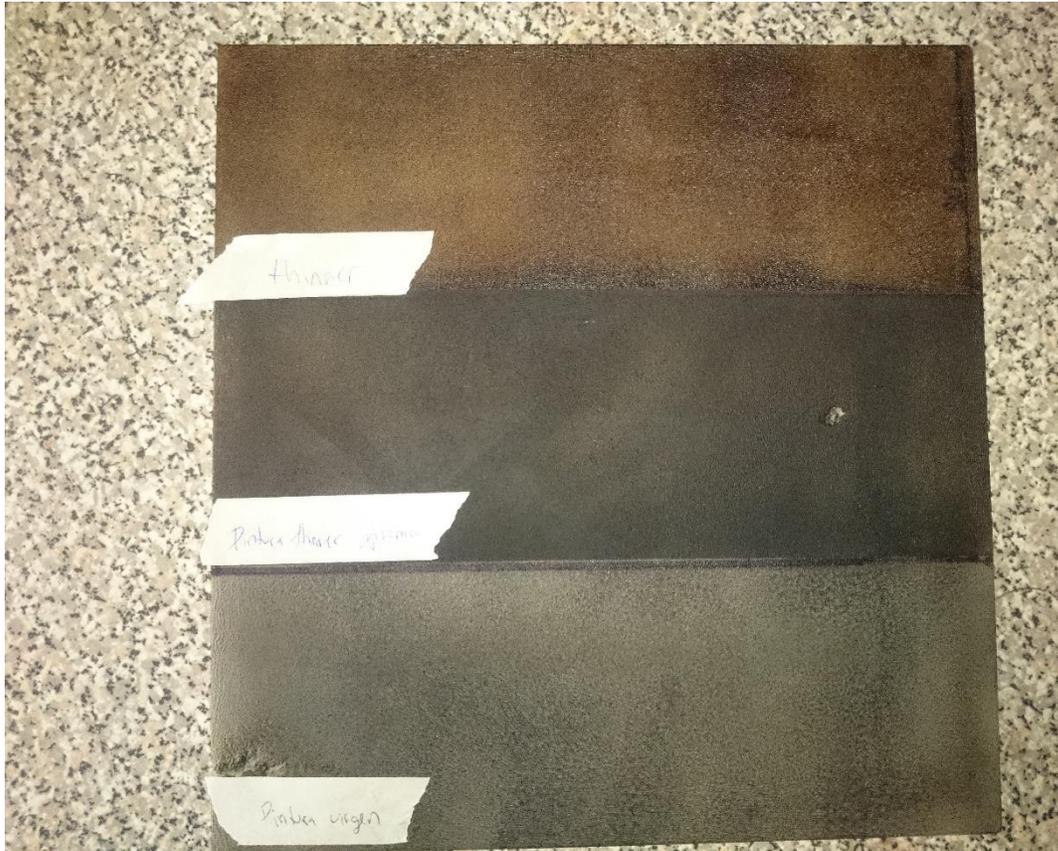
10/95 SECONDS	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	←----- VISCOSITY IN CENTISTOKES ----->									
10	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83
11	85	87	88	90	92	94	96	98	99	101
12	103	105	107	108	110	112	114	116	117	119
13	121	122	124	126	127	129	131	133	134	136
14	138	139	141	143	144	146	148	149	151	152
15	154	156	157	159	161	162	164	165	167	169
16	170	172	173	175	176	178	180	181	183	184
17	186	187	189	190	192	194	196	197	198	200
18	201	203	204	206	207	209	210	212	213	215
19	217	218	220	221	223	224	226	227	229	230
20	232	233	235	236	238	239	240	242	243	245
21	248	248	249	251	252	254	255	257	258	260
22	263	263	264	266	267	268	270	271	273	274
23	276	277	279	280	282	283	284	286	287	289
24	290	292	293	295	296	297	299	300	302	303
25	305	306	307	309	310	312	313	315	316	317
26	319	320	322	323	325	326	327	329	330	332
27	333	335	336	337	339	340	342	343	344	346
28	347	349	350	351	353	354	356	357	359	360
29	361	363	364	366	367	368	370	371	373	374
30	375	377	378	380	381	382	384	385	387	388
31	389	391	392	394	395	396	398	399	401	402
32	403	405	406	407	408	410	412	413	414	416
33	417	419	420	421	423	424	426	427	428	430
34	431	432	434	435	437	438	439	441	442	443
35	445	446	448	449	450	452	453	455	456	457
36	459	460	461	463	464	466	467	468	470	471
37	472	474	475	477	478	479	481	482	483	485
38	486	488	489	490	492	493	494	496	497	499
39	500	501	503	504	506	507	508	509	511	512
40	514	515	516	518	519	520	522	523	525	526
41	527	529	530	531	533	534	535	537	538	540
42	541	542	544	545	546	548	549	550	552	553
43	555	556	557	559	560	561	563	564	565	567
44	568	570	571	572	574	575	576	578	579	580
45	582	583	584	586	587	589	590	591	593	594
46	595	597	598	599	601	602	603	605	606	608
47	609	610	612	613	614	616	617	618	620	621
48	622	624	625	627	628	629	631	632	633	635
49	636	637	639	640	641	643	644	645	647	648
50	650	651	652	654	655	656	658	659	660	662
51	663	664	666	667	668	670	671	673	674	675
52	677	679	679	681	682	683	685	686	687	689
53	690	691	693	694	695	697	698	700	701	702
54	704	705	706	708	709	710	712	713	714	716
55	717	718	720	721	722	724	725	726	728	729
56	731	732	733	735	736	737	739	740	741	743
57	744	745	747	748	749	751	752	753	755	756
58	757	759	760	762	763	764	766	767	768	770
59	771	772	774	775	776	778	779	780	782	783
60	784	786	787	788	790	791	792	794	795	796

Example: 45.9 Seconds = 594 Centistokes.

©Copyright 1987 Paul N. Gardner Co.

Fuente: Manual Paul N. Gardner Company, Inc.

Anexo 4. **Imagen de aplicación de las muestras**



Fuente: laboratorio empresa Química Industrial Romana S. A.