



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

**EVALUACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO
SUPERFICIAL MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Gerardo Sebastián De León Salazar

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO
SUPERFICIAL MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GERARDO SEBASTIÁN DE LEÓN SALAZAR
ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERIO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 21 de noviembre de 2013.

Gerardo Sebastián De León Salazar



Guatemala, 27 de abril de 2015

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director
Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Monzón:

Con un cordial saludo me dirijo a su persona para informarle que he asesorado y aprobado el informe final de Trabajo de Graduación titulado: **“EVALUACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”**. Elaborado por el estudiante de Ingeniería Química Gerardo Sebastián De León Salazar con número de carné 201020253. Considero que el informe final de Trabajo de Graduación desarrollado satisface los requisitos exigidos; por lo que solicito se sirva remitirlo para su respectiva revisión.

Agradezco la atención a la presente.

Atentamente,


Ing. César Alfonso García Guerra
Colegiado No. 145
ASESOR

César Alfonso García Guerra
INGENIERO QUÍMICO
COLEGIADO No. 145

PROGRAMA DE INGENIERÍA
QUÍMICA ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2013 - 2015





Guatemala, 02 junio de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.029.2015.

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **168-2013** 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: **Gerardo Sebastián De León Salazar**.
Identificado con número de carné: **2010-20253**.
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 EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL
MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **César Alfonso García Guerra**.

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejia
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



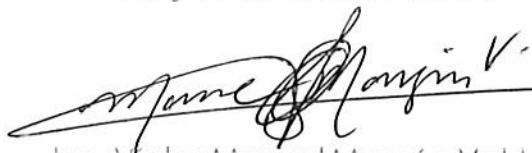
C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.079.2015

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, **GERARDO SEBASTIÁN DE LEÓN SALAZAR** titulado: "EVALUACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO". 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. Victor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 278.2015

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 EN LA FORMULACIÓN DE RESINA DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL MEDIANTE RECICLAJE DE POLIESTIRENO**, presentado por el estudiante universitario: **Gerardo Sebastián De León Salazar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano



Guatemala, 19 de junio de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Mirna Salazar y Paulino De León. Por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente y humanamente a través de sus sacrificios, amor y paciencia.

Mi familia

Por estar ahí en los buenos y malos momentos apoyándome para seguir adelante y lograr mis metas.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la casa de mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por ser mi fuente de conocimiento y formación para mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de formación profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi fuente de conocimiento y formación para mi desarrollo profesional.
Pueblo guatemalteco	Por ser mi mecenas en esta formación profesional.
Mis padres	Por formar en mí la ética y perseverancia necesaria para alcanzar esta meta.
Ing. César García	Por haberme apoyado en mi trabajo de graduación.
Licda. Ingrid Benítez	Por todo el apoyo brindado durante mi formación profesional.
Ana Fión	Por estar apoyándome incondicionalmente durante mi formación profesional.
Mi familia	Por estar ahí apoyándome en mi formación.
Inga. Mary Corado	Por haberme brindado su ayuda y apoyo en mi trabajo de graduación.

Mis amigos

Por estar ahí acompañándome y apoyándome en mi formación profesional.

Ing. José Gómez

Por aconsejarme durante mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Polímeros	3
2.1.1. Polímeros sintéticos.....	3
2.1.2. Clasificación según las propiedades físicas de los polímeros	4
2.1.3. Degradación de polímeros.....	5
2.2. Estireno	5
2.3. Poliestireno.....	6
2.4. Poliestireno expandido	6
2.4.1. Propiedades del poliestireno.....	7
2.5. Resinas para recubrimientos	9
2.6. Análisis de composición de resinas y pinturas	13
2.6.1. Características de la pintura	14
2.6.2. Características de suministro.....	14
2.6.3. Características de aplicación	15

2.6.4.	Características físicas	16
2.6.5.	Características mecánicas	17
2.6.6.	Características térmicas	19
2.6.7.	Características químicas	19
2.7.	Control de la aplicación de recubrimientos.....	20
2.8.	Control de sistema aplicado	22
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables	23
3.2.	Delimitación de campo de estudio	25
3.3.	Recursos humanos disponibles	25
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	25
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	26
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	27
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	29
3.8.	Diseño del experimento por propósito de análisis estadístico	32
3.9.	Plan de análisis de resultados mediante ANOVA	34
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según las variables para método ANOVA bifactorial	34
3.9.2.	Programas a utilizar para el análisis de datos	35
4.	RESULTADOS.....	37
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	59
	CONCLUSIONES.....	67

RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
APÉNDICES	73
ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Forma comercial del poliestireno expandido para embalaje	7
2.	Evaluación de barrido espectrofotómetro uv/visible	29
3.	Prueba de afinidad con solvente mineral	38
4.	Prueba de afinidad con butil cellosolve	38
5.	Prueba de afinidad con tolueno.....	39
6.	Prueba de afinidad con xileno	39
7.	Prueba de afinidad con acetato de butilo	40
8.	Prueba de afinidad con MIBK.....	40
9.	Prueba de afinidad con butanol.....	41
10.	Prueba de afinidad con IPA.....	41
11.	Prueba de afinidad con MEK.....	42
12.	Gráfica comparativa entre tiempo de secado de laca y y vehículo de disolución en función del porcentaje másico de EPS a 23 °C	43
13.	Gráfica comparativa entre viscosidad de laca y vehículo de disolución en función del porcentaje másico de EPS a 23 °C	45
14.	Gráfica comparativa entre densidad de laca y vehículo de disolución en función del porcentaje másico de EPS a 23 °C	47
15.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 60 % EPS en xileno a 26 °C.....	49
16.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 30 % EPS en xileno a 26 °C.....	50
17.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 15 % EPS en xileno a 26 °C.....	51

18.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 60 % EPS en acetato de butilo a 26 °C	52
19.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 30 % EPS en acetato de butilo a 26 °C	53
20.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 15 % EPS en acetato de butilo a 26 °C	54
21.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 60 % EPS en MIBK a 26 °C	55
22.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 30 % EPS en MIBK a 26 °C	56
23.	Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 15 % EPS en MIBK a 26 °C	57

TABLAS

I.	Estabilidad química del poliestireno frente a diferentes solventes	8
II.	Descripción de variables dependientes e independientes	24
III.	Preparación de las resinas de recubrimiento	27
IV.	Métodos ASTM para evaluación de propiedades	28
V.	Afinidad del poliestireno en función del vehículo de dilución	30
VI.	Tiempo de secado de las lacas en función de fracción másica de poliestireno en el vehículo de disolución a 23 °C.....	30
VII.	Densidad de las lacas en función de fracción másica de poliestireno en el vehículo de disolución a 21 °C.....	31
VIII.	Viscosidad de la laca en función de fracción másica de poliestireno en el vehículo de disolución a 23 °C.....	32
IX.	Experimento de dos factores	33
X.	Varianza en un diseño bifactorial.....	34

XI.	Compatibilidad del poliestireno expandido en los diferentes vehículos de disolución a 26 °C	37
XII.	Elección de vehículos de disolución.....	38
XIII.	Tiempo de secado de lacas aplicadas en sustrato leneta a 23 °C.....	42
XIV.	Coeficiente de determinación para tiempo de secado en función de la fracción de EPS en disolución.....	43
XV.	ANOVA bifactorial de tiempo de secado en función de fracción de EPS en disolución	44
XVI.	Viscosidad de lacas generadas en viscosímetro de Krebs-Stomer a 23 °C	44
XVII.	Coeficiente de determinación para logaritmo base 10 de la viscosidad en función de la fracción de EPS en disolución.....	45
XVIII.	ANOVA bifactorial de viscosidad en función de fracción de EPS en disolución	46
XIX.	Densidad de las lacas generadas a 21°C	46
XX.	Coeficiente de determinación para densidad en función de la fracción de EPS en disolución.....	47
XXI.	ANOVA bifactorial de densidad en función de fracción de EPS en disolución	48
XXII.	Máximos de absorbancia en cada resina.....	58
XXIII.	Análisis de varianza en longitud de onda de máxima absorbancia	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cc	Centímetro cúbico
cP	Centipoise
R²	Coeficiente de determinación
C	Controlable
°C	Grado Celsius
g	Gramo
L	Litro
mL	Mililitro
min	Minuto
nm	Nanómetro
NC	No controlable
%	Porcentaje
F	Valor de distribución de Fischer

GLOSARIO

Absorbancia	Es el porcentaje de luz que absorbe una muestra que es sometida a un haz de luz.
ASTM	American Society for Testing and Materials es un organismo estadounidense que se encarga de la estandarización de pruebas de calidad de diversos materiales para la industria.
Densidad	Propiedad intrínseca de la materia que define la relación que existe entre la masa que posee un volumen definido de sustancia.
Disolución	Mezcla homogénea donde sus componentes no reaccionan entre sí.
Disolvente	Sustancia en la que se diluye el soluto. En las pinturas se entiende como el líquido en el que se suspenden las resinas.
EPS	Poliestireno expandido. Material plástico espumado derivado del poliestireno usado en embalaje y construcción.

Espectro visible	Rango de longitud de onda de la luz que es visible para el ojo humano. Comprende entre los 380 nm y 750 nm.
IPA	Alcohol isopropílico.
Leneta	Pieza rectangular de cartulina recubierto de barniz utilizado en pruebas estándar en la industria de pinturas y recubrimientos.
MEK	Metil etil cetona.
MIBK	Metil isobutil cetona.
Polímero	Son macromoléculas formadas por moléculas más pequeñas que se llaman monómeros.
Resina	Agente que se encarga de encapsular el pigmento y adherirlo al sustrato.
Sustrato	Superficie donde se aplica el recubrimiento.
Varianza	Es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.
Viscosidad	Es la oposición de un fluido a sufrir deformaciones tangenciales.

RESUMEN

La problemática generada por los residuos de poliestireno expandido, debido a la acumulación en los vertederos, generó interés en encontrar una alternativa viable de reciclaje.

Se prepararon diferentes formulaciones de laca mediante la disolución de EPS utilizando diferentes solventes y concentraciones. Los solventes utilizados para generar las resinas fueron: xileno, MIBK y acetato de butilo. Se varió la fracción másica de poliestireno expandido, en las disoluciones, en 3 proporciones, 15, 30 y 60 %.

Se obtuvieron resultados del comportamiento en el tiempo de secado, densidad, viscosidad y absorbancia respecto a la longitud de onda de las resinas obtenidas y se encontraron los factores que influyen en estas propiedades, así como las tendencias que se generaban al variar las proporciones de poliestireno expandido.

Se concluyó que las resinas con un porcentaje de 60 % de EPS disuelto en xileno y MIBK, presentaron las propiedades deseables de viscosidad y densidad, respecto a las demás resinas generadas. Además, todas las resinas presentan potencial muy bajo de colorarse luego de la aplicación.

Todas las tendencias anteriores se validaron utilizando un análisis de varianza bifactorial, así como la determinación del coeficiente de determinación de las propiedades y se concluyeron respecto a las hipótesis nulas de cada

propiedad evaluada. Las tendencias fueron diferentes en cada propiedad evaluada.

OBJETIVOS

General

Evaluar la fabricación de laca de recubrimiento superficial, obtenida a partir de diferentes proporciones de poliestireno expandido de residuo en diferentes vehículos de disolución.

Específicos

1. Realizar pruebas de afinidad entre el EPS de residuo y diferentes vehículos de solución con base en solubilidad.
2. Evaluar, mediante pruebas normalizadas ASTM, las propiedades de tiempo de secado, densidad y viscosidad de las lacas de recubrimiento superficial obtenidas en función del porcentaje másico de EPS de residuo en solución.
3. Evaluar, mediante pruebas normalizadas ASTM, las propiedades de tiempo de secado, densidad y viscosidad de las lacas de recubrimiento superficial obtenidas en función de tres vehículos de disolución.
4. Realizar barridos espectrales a las lacas obtenidas, en el rango uv/visible de longitud de onda.

5. Realizar un análisis estadístico sobre el efecto del solvente y la fracción másica de EPS de residuo utilizado en las propiedades físicas y químicas de las resinas de recubrimiento superficial obtenidas.

Hipótesis

Se puede generar una laca de recubrimiento superficial a partir de los residuos de poliestireno expandido.

Hipótesis nula

El disolvente, así como la fracción másica de contenido de poliestireno expandido, no afectan significativamente las propiedades de la laca de recubrimiento superficial.

Hipótesis alterna

El disolvente, así como la fracción másica de contenido de poliestireno expandido, afectan significativamente las propiedades de la laca de recubrimiento superficial.

INTRODUCCIÓN

El poliestireno expandido es un material de usos diversos. El problema que genera el poliestireno expandido de embalaje, luego de su utilización, es la acumulación en vertederos municipales, donde su disposición no es adecuada, y actualmente, es inexistente una metodología de gestión adecuada del residuo.

El poliestireno expandido tiene dentro de sus propiedades químicas, afinidad para disolverse en diferentes solventes orgánicos no polares o de constante dieléctrica baja. Asimismo, es adecuado el solubilizarlo y luego encontrar una aplicación para esta solución generada.

Dentro de los solventes más comunes en la industria de la pintura, siendo esta una de las aplicaciones que tienen las lacas de recubrimiento superficial, se encuentran: el xileno, tolueno, solvente mineral, IPA, butanol, MIBK, MEK, acetato de butilo y butil cellosolve.

Existen propiedades físicas y químicas que indican la capacidad que tienen las lacas de recubrimiento superficial para usos específicos, estos parámetros están estandarizados por la ASTM, que se encarga de regular y normalizar las pruebas para medir las propiedades importantes para las aplicaciones de las lacas de recubrimiento superficial.

De igual manera estos parámetros se analizarán haciendo variaciones en la cantidad de poliestireno expandido en las soluciones y los solventes, para observar la influencia que tienen estos en las propiedades químicas y físicas de las resinas generadas.

1. ANTECEDENTES

El reciclaje de poliestireno expandido ha sido evaluado en áreas como construcción y resinas de intercambio catiónico. Sin embargo, respecto al reciclaje del mismo como lacas de recubrimiento superficial no se encontraron publicaciones en Guatemala.

En México, el periódico Gaceta de la Universidad Autónoma de México, con fecha 17 de agosto de 2009, publicó que en la Facultad de Química, se realizó la disolución del poliestireno expandido, con muy buenos resultados como resina de recubrimiento, esto como parte del tema de tesis de licenciatura de Javier Adrián García Pineda, con la colaboración del Dr. Jesús Gracia Fadrique. Fue imposible conseguir el trabajo de graduación de Javier Adrián García Pineda, por lo que no se pudo indagar más que lo que se encontró en el artículo del periódico.

En la Universidad de El Salvador se encontró el trabajo de graduación de Enma Aracely Arriola y Fidel Velásquez, titulado *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido, (EPS)* en la cual se trabajó el reciclaje de poliestireno expandido analizando sus propiedades químicas y físicas, centrándose en obtener un barniz que tuviese la mejor capacidad de adhesividad a través de la disolución de poliestireno expandido en diferentes solventes orgánicos.

Asimismo, La Universidad de Antioquía publicó en la Revista Facultad de Ingeniería, núm. 62 de las páginas 103 a 113 de marzo de 2012, *Perspectiva de uso del poliestireno expandido, como alternativa de impermeabilizante para electrodos empleados en la soldadura subacuática mojada*, donde se trabajó con una formulación de barniz para recubrimiento impermeabilizante a base de EPS de residuo. En este trabajo se obtuvieron resultados, ya que el barniz generado a partir de EPS no se obtuvieron diferencias significativas con el barniz comercial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Polímeros

Los polímeros son moléculas grandes, construidas por medio de enlaces repetitivos de muchas unidades más pequeñas. Estas unidades pequeñas se llaman monómeros y la reacción en la que los monómeros se unen entre sí se llama polimerización. De esta manera es posible encontrarlos en la naturaleza (polímeros naturales) como los producidos por el ser humano (polímeros sintéticos). Se puede decir como regla general que es necesario que un polímero contenga al menos 1 000 unidades repetidas para que tenga propiedades de plástico.

2.1.1. Polímeros sintéticos

Los polímeros sintéticos se clasifican según el método para sintetizarlos: crecimiento en cadena y crecimiento en etapas. Los polímeros de crecimiento en cadena son producidos por polimerización de una reacción en cadena, donde se añade un iniciador al enlace doble carbono-carbono de un sustrato insaturado y forma un intermediario reactivo. Este intermediario reacciona con otra molécula y así sucesivamente. El iniciador puede ser un radical, un ácido o un anión. La reacción iniciada por un radical suele ser la más común y funciona con monómeros vinílicos, exceptuando unos pocos.

Cuando se polimeriza un solo tipo de monómero, se le conoce como homopolímero, mientras que cuando dos tipos de diferentes monómeros se polimerizan juntos se obtiene un copolímero; que contienen generalmente una secuencia desordenada de las dos unidades monómeras en función de las cantidades respectivas de monómeros añadidas y de sus reactividades hacia la cadena en crecimiento del polímero.

2.1.2. Clasificación según las propiedades físicas de los polímeros

La química de los polímeros es similar a la de sus moléculas análogas pequeñas. La diferencia principal entre las moléculas orgánicas pequeñas y sus polímeros se encuentra en sus propiedades físicas. Asimismo, se dividen en cuatro categorías importantes según su comportamiento físico: termoplásticos, fibras, elastómeros y resinas termoendurecibles.

- Termoplásticos: son polímeros con una alta temperatura de transición vítrea, por lo que son duros a temperatura ambiente, sin embargo, se vuelven blandos y viscosos cuando se les aplica calor. Debido a esta propiedad son moldeables.
- Fibras: son hebras delgadas producidas por extrusión de un polímero fundido a través de pequeños orificios en una matriz o espinereta. Posteriormente se enfrían y extraen.
- Elastómeros: son polímeros amorfos que poseen la propiedad de estirarse y recuperar su forma original. Estos polímeros poseen valores de temperatura de transición vítrea bajos y pocos enlaces cruzados.

- Resinas de termofraguado: son polímeros que por efecto del calor se convierten en una masa sólida, dura e insoluble y con demasiados enlaces entrecruzados.

2.1.3. Degradación de polímeros

La elevada estabilidad química de muchos polímeros es su característica deseada, asimismo, es la más difícil de tratar en cuanto a desecho se refiere. El reciclaje de polímeros indeseables es la mejor solución. Existen seis tipos de plástico de uso común que con frecuencia se marcan con códigos de identificación asignados por la Society of the Plastics Industry, de Estados Unidos. El código del poliestireno es 6-PS.

2.2. Estireno

El estireno es un monómero muy versátil que se utiliza en grandes cantidades como homopolímero, como polímero entrecruzado y como copolímero. Es muy reactivo; al polimerizar se obtiene un producto de excelente calidad y buenas propiedades eléctricas; en forma de espuma, es un material muy ligero con excelentes propiedades estructurales, que lo hacen adecuado para accesorios de mobiliarios sintéticos. Con él, se construyen viviendas de una sola habitación, tipo iglú, realizando las etapas finales de la polimerización de las paredes exteriores en el lugar de la construcción.

El estireno también puede entrecruzarse obteniendo una resina insoluble. Esto se obtiene añadiendo una pequeña cantidad de divinilbenceno al estireno antes de efectuar su polimerización. Si la resina entrecruzada, se sulfona con ácido clorosulfónico o ácido sulfúrico se obtiene una resina cambiadora de iones particularmente útil en el ablandamiento del agua. Una de las aplicaciones

más importantes del estireno es la copolimerización con butadieno para preparar caucho sintético. La reacción exige un gran exceso de butadieno del que un 80 % sufre adición 1,4; la mayoría de los dobles enlaces remanentes tienen configuración trans. Estos dobles enlaces juegan un papel esencial en la etapa siguiente de la manufactura del caucho sintético, que aunque es muy complicada y desconocida, implica con seguridad entrecruzamiento de las cadenas de polímero por medio de los dobles enlaces y de átomos de azufre elemental: este proceso se denomina vulcanización del caucho. El copolímero, con un peso molecular que oscila entre 25 000 y 50 000 umas, se consume en grandes cantidades en la fabricación de cubiertas y bandas de rodadura de neumáticos.

2.3. Poliestireno

Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. El poliestireno, se genera mediante polimerización aniónica con butil-litio de catalizador. Existen cuatro tipos principales: el poliestireno cristal, el cual es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable.

2.4. Poliestireno expandido

Consiste en 95 % de poliestireno y 5 % de un gas que forma burbujas que reducen la densidad del material. Su aplicación principal es utilizado como aislante en construcción y para el embalaje de productos frágiles. El poliestireno expandido es uno de los materiales menos amigables con el ambiente; esto se debe a que la polimerización del estireno no es reversible, sin embargo, puede volver a utilizarse en la producción de poliestireno expandido.

Figura 1. **Forma comercial del poliestireno expandido para embalaje**



Fuente: LAFIQ.

2.4.1. Propiedades del poliestireno

Además, de los enlaces covalentes que mantienen unidas a las moléculas de los monómeros, suelen producirse otras interacciones intermoleculares e intramoleculares; que influyen notablemente en las propiedades físicas del polímero, que son diferentes de las que presentan las moléculas de partida. El poliestireno, en general, posee elasticidad, cierta resistencia al ataque químico, buena resistencia mecánica, térmica y eléctrica y baja densidad.

Tabla I. **Estabilidad química del poliestireno frente a diferentes solventes**

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución salina/ Agua de mar	Estable: no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensoactivas	Estable: no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua)	No estable: se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos	No estable: se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: se contrae o se disuelve
Aceite de diésel	No estable: se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: no se destruye con una acción prolongada

Fuente: *Reciclaje de poliestireno.*

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/reciclado>. Consulta: octubre de 2013.

El poliestireno es un polímero termoplástico. En estos polímeros las fuerzas intermoleculares son débiles y al calentar las cadenas pueden moverse unas con relación a otras y el polímero puede moldearse. Cuando el polímero

se enfría vuelven a establecerse las fuerzas intermoleculares, no entre átomos diferentes, con lo que cambia la ordenación de las cadenas.

2.5. Resinas para recubrimientos

Los recubrimientos son materiales que se depositan sobre la superficie de un objeto, denominado sustrato. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar propiedades de la superficie del sustrato, tales como: aspecto, adhesión, permeabilidad, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y resistencia a las ralladuras, entre otras.

Los principales componentes de los recubrimientos son el vehículo volátil, fijo y pigmento. El vehículo está formado por el disolvente o el diluyente y el aglutinante o ligante. Este componente es el más importante, asimismo, recibe el nombre de aglutinante o resina. Las resinas cumplen un efecto barrera y sirven para aglomerar los pigmentos de las pinturas.

A partir del procedimiento que necesita el recubrimiento para llegar a sus características de comportamiento, se clasifican de la siguiente manera:

- Secado al aire, un solo componente: la primera etapa considera una eliminación de solventes por evaporación a temperatura ambiental, luego, por una interacción con el aire, las moléculas de resinas se unen en forma entrelazada, dando lugar a películas continuas de resina-pigmento.
- Secado al aire, dos componentes: la primera etapa es una eliminación de solventes a temperatura ambiente, desarrollándose simultáneamente una reacción de enlazamiento tridimensional entre las resinas de cada uno de

los componentes, una de las cuales se denomina comúnmente catalizador. El tiempo de esta reacción es de 5 a 7 días. Los recubrimientos epóxicos y de poliuretanos trabajan de esta forma.

- Curado a alta temperatura: la primera etapa considera la eliminación de solventes a temperatura ambiente, donde luego es necesario exponer el recubrimiento a temperatura arriba de 100 °C lográndose en esa forma el entrelazamiento o curado requerido para alcanzar las características de operación o protección. En este procedimiento de curado se incluyen los recubrimientos de horno, que posteriormente a su curado, trabajan a temperatura ambiente, de igual manera los recubrimientos resistentes a altas temperaturas utilizados en la protección de instalaciones, que operan a temperaturas muy superiores a la del ambiente.

Otra manera de clasificación de los recubrimientos, se da respecto a la resina utilizada en la fabricación de los mismos.

- Recubrimientos alquidáticos: es un recubrimiento barato, con buena retención de brillo y resistencia a medios secos o húmedos sin salinidad o gases corrosivos. Buena adherencia, poder de humectación y tolera cierto grado de impurezas. Se ca por evaporación de solventes e interacción con el aire. Sus limitaciones se encuentran representadas por su baja resistencia a solventes fuertes como: aromáticos, éter, cetonas y compuestos solventes alifáticos. Su resistencia química es regular y especialmente mala en condiciones alcalinas.
- Recubrimientos vinílicos: son recubrimientos no tóxicos, con resistencia a la abrasión, por lo que pueden ser usados en la protección de superficies metálicas y resisten la inmersión continua en agua dulce o salada, no es

afectado por derivados del petróleo. Otorgan una superficie semibrillante, con alta resistencia a la intemperie. Sus limitaciones, son baja resistencia a éteres, cetonas, inmersión en hidrocarburos clorados o solventes con más de 30 % de aromáticos. Es afectado por alta exposición solar. Se ca por evaporación de solventes. No se recomienda su uso en temperaturas mayores a 55 °C.

- Recubrimientos epóxicos: en términos generales, el nivel de adherencia, dureza, flexibilidad y resistencia a los medios corrosivos de los recubrimientos epóxicos, no han sido superados por ningún otro tipo de los recubrimientos actuales. Presentan un grado alto de impermeabilidad, manteniéndose inalterables ante la exposición o inmersión en agua dulce, salada y vapor de agua. Estos requieren de un agente de polimerización llamado catalizador, normalmente constituido por una solución de resinas amínicas o poliamídicas. Su principal limitación es la formación de un caléo superficial sin menoscabo a sus propiedades de película, así como su alto costo. Con el tiempo tiende a fragilizarse. A corto plazo alcanza a desarrollar una superficie lisa y muy continua, la cual puede representar problemas de adherencia durante el repintado o mantenimiento, requiriendo un mordentado.
- Recubrimientos epoxy-alquitrán de hulla: este recubrimiento se ha desarrollado específicamente, para resolver problemas de inmersión continua en agua salda por mucho tiempo, en el cual se combina la alta resistencia y características de un recubrimiento epóxico con la alta impermeabilidad del alquitrán de hulla. No obstante, su resistencia a los solventes es afectada, por lo que no se recomienda una inmersión continua a los mismos; de igual manera, por influencia del alquitrán de

hulla, el recubrimiento tiende a cuartearse y calentarse, esto sucede cuando se expone por largo tiempo a la acción de los rayos del sol.

- Recubrimientos vinil-acrilicos: son recubrimientos que exponen una alta resistencia química y a la abrasión de los vinílicos, con la excepcional resistencia a la intemperie y rayos del sol de las resinas acrílicas. Su poder de retención de brillo y color es superior a cualquiera de los recubrimientos desarrollados a la fecha, por lo que además de ser resistente a los medio salinos, ácidos y alcalinos, otorgan una alta eficiencia de protección contra la corrosión, presenta características decorativas. La presencia de la resina acrílica, disminuye la resistencia a los solventes de tipo aromático, cetonas, ésteres y alifáticos por lo que no se recomienda para inmersión continua.
- Recubrimientos fenólicos: son recubrimientos duros, brillantes y muy adherentes, su resistencia a solventes, ácidos y alcalinos es moderada. Su eficiencia de protección es ligeramente mayor a la de los alquidálicos. Si el recubrimiento se hornea, su resistencia incrementa considerablemente (agua y solventes).
- Recubrimientos de silicon: la alta estabilidad térmica de la resina permite la utilización de este tipo de recubrimientos hasta unos 750 °C, la película del recubrimiento resultante es resistente a la intemperie y atmósferas contaminadas.
- Recubrimientos antivegetativos: es un recubrimiento desarrollado para prevenir el crecimiento de organismos marinos en superficies sumergidas por largos períodos. En su formación, se incluyen resinas vinílicas, brea, cobre o tóxicos organometálicos, que permiten esta acción de inhibición.

Este recubrimiento requiere una formulación cuidadosa, a fin de que el tóxico abandone el recubrimiento pausadamente, en cantidad suficiente para inhibir el crecimiento de organismos marinos.

2.6. Análisis de composición de resinas y pinturas

Existen cuatro puntos fundamentales en el análisis de una pintura líquida:

- Análisis del polímero o resina base incluyendo aditivos.
- Análisis de disolventes y diluyentes.
- Análisis de cargas y pigmentos.
- Comprobaciones fisicoquímicas en la pintura, tales como: viscosidad, densidad, materia fija, entre otros.

Actualmente se han logrado mejoras notables el avance de las nuevas técnicas de medición de parámetros, sin embargo, no deben despreciarse los métodos tradicionales.

Asimismo, en el momento de analizar una pintura, se puede decir que se realiza un desdoblamiento o separación de una pintura en sus componentes y se identifica cada uno de ellos, entendiéndose como un análisis de las materias primas.

Anteriormente, las pinturas eran más sencillas, por lo que analizarlas era un procedimiento sencillo. Posteriormente, al mejorarse las técnicas y materiales para su fabricación en la industria, tanto de pinturas como de barnices, se ha requerido mejoras y aplicación de métodos de análisis y controles rigurosos adaptados a las nuevas necesidades.

2.6.1. Características de la pintura

El almacenaje correcto, distribución, aplicación y curado de una pintura o barniz, requiere el conocimiento detallado de sus propiedades. Este conocimiento proviene de una serie de propiedades medibles que sirven al fabricante y al usuario para llevar el control de calidad del producto.

Los recubrimientos poseen requisitos básicos que deben cumplir, entre ellos: adherencia, impermeabilidad, protección anticorrosión, resistencia a paso de vapor y a ósmosis, resistencia a la intemperie y resistencia a la abrasión.

De igual manera, dependiendo de las características que posea el recubrimiento, así serán sus características para la aplicación, de esta manera se obtienen las relaciones de: contenido en sólidos-vida de la mezcla, viscosidad-secado, densidad-rendimiento, finura-aplicación, punto de inflamación y estabilidad con el descolgamiento.

2.6.2. Características de suministro

El contenido en sólidos se refleja en el porcentaje de pigmento y ligante referido al total de pintura. Su medición es importante para el control de errores de producción o envasado.

La viscosidad es la propiedad de mayor facilidad de medición que afecta la propiedad de estabilidad de una pintura. Esta propiedad se necesita para una buena aplicación, mostrando que tan consistente es el recubrimiento. Además, tiene la característica especial de que se ve influenciada por la temperatura.

La densidad está relacionada con el contenido de sólidos. Con base en este parámetro, se pueden estimar los rendimientos de una pintura. El rendimiento es proporcional a la densidad, por lo que entre menor sea la densidad, menor será el rendimiento. La temperatura de igual manera a esta propiedad, debido a la dilatación térmica que tiene la pintura.

La estabilidad está relacionada con el almacenamiento, es decir, el tiempo que una pintura puede estar en *stock* conservando sus propiedades. Esta se ve afectada por las condiciones de almacenamiento, calentamiento, exposición al sol o cambios de temperatura. Una pintura no debe poseer: sedimentos, separación de fases durante su almacenamiento, grumos, pieles o floculación en los pigmentos.

2.6.3. Características de aplicación

Las características de aplicación se encuentran relacionadas a su comportamiento al momento de su utilización, entre estas se encuentran: la vida de mezcla, secado, rendimiento, aplicación y descolgamiento

Al hacer referencia a la vida de mezcla, esta es importante en sistemas de dos componentes, donde interesa conocer el tiempo que existe entre su preparación hasta el inicio de su gelificación o espesamiento.

El secado de una pintura es una característica muy importante en la elección de la misma y en la aplicación a realizar. Hay diferentes grados de secado, del tipo de solvente y de la polimerización de los sólidos. Este ensayo es de los más exhaustivos de laboratorio.

El rendimiento real de una pintura depende del sustrato, de la manera en que se aplica, del espesor de capa, peso específico y contenido de sólidos. Basándose en el poder de cubrimiento u opacidad, se puede encontrar el rendimiento.

En la aplicación, la pintura deberá ser dada en ciertas condiciones que tras una simple agitación se pueda aplicar. Deberá tener una viscosidad adecuada, ya sea para usar con rodillo o pistola y no deberá de existir separación cuando haya adición de disolventes.

El descolgamiento es el efecto que se da cuando una pintura no mantiene su forma. Esto, es un defecto de la reología de la pintura, el cual se encuentra estrechamente ligado con la viscosidad, debido a que si una pintura fluye demasiado durante su aplicación, presentará este efecto.

2.6.4. Características físicas

Dentro de las características físicas, se encuentran: el espesor, aspecto, color, opacidad y brillo.

En la propiedad de espesor se obtiene una dependencia de la composición y aplicación de la pintura. Una característica deseable es la existencia de una relación entre el espesor en húmedo y en seco.

En el aspecto de la película seca, esta debe ser lisa, sin marcas, brillo y color uniforme. No se deben presentar descolgamientos, flotaciones de color o cráteres y debe poder recubrir uniformemente. La adherencia entre capas y con el sustrato debe ser suficiente.

El color del recubrimiento ya aplicado debe encontrarse por comparación con un estándar. Debido a que cuando la luz llega a la película, esta absorbe una parte y refleja otra, lo que influye en el color que se percibe. El mejor colorímetro es el ojo humano, no obstante, existen métodos que miden la reflectancia de un haz de luz. Sin embargo, existe la posibilidad de manifestación de diferentes colores dependiendo de la fuente de luz que se utilice, por ejemplo la luz del sol o la emitida por una lámpara; a este fenómeno se le conoce como metamería.

La opacidad de una pintura es la capacidad que tiene para cubrir al sustrato, y es función con el espesor de película; este se mide respecto a un fondo negro o blanco, donde existe una relación con el rendimiento del recubrimiento.

El brillo es consecuencia de la reflexión que ocurre cuando la luz incide sobre una superficie. Su medición se puede realizar por contraste, comparando con un estándar utilizando un goniómetro. Sin embargo, se ha tratado de normalizar esto, midiendo con un ángulo de 60°/60° se ha otorgado la clasificación de la siguiente manera: mayor a 90 % tiene alto brillo, 90 % es brillante, 70 % es satinado medio, 50 % satinado, 40 % semimate, 30 % mate, 10 % mate intenso e inferior al 10 % mate total.

2.6.5. Características mecánicas

Entre las características mecánicas se encuentran las siguientes: adherencias, flexibilidad, resistencia al impacto, dureza, resistencia a la abrasión y rayabilidad.

Por las adherencias se puede encontrar la cohesión del sistema con la superficie, o bien, la que se encuentra entre capas. La protección del recubrimiento está estrechamente relacionada con la adherencia. Para su medición se emplean rayadores de cuchillas paralelas que pasan dos veces sobre la superficie perpendicularmente, observando la adherencia durante su aplicación, posteriormente, del despegue violento de una cinta adhesiva.

La flexibilidad se encuentra por un ensayo de embutición, empujando una bola estandarizada detrás de la chapa pintada, hasta que existan quebraduras en la película. La resistencia es la profundidad de la penetración. Dada en milímetros.

La medición a la resistencia al impacto es un parámetro que aporta flexibilidad y adherencia con la que se comporta el sistema.

La dureza superficial se encuentra relacionada con el estado de curado o de polimerización que el recubrimiento ha adquirido, después de una aplicación correcta. Entre más flexible es el recubrimiento, menor dureza tendrá.

La resistencia a la abrasión es una propiedad de menor importancia, en la consideración de las características del recubrimiento. Sin embargo, existen aplicaciones donde esta es importante, que regularmente será en sustratos móviles.

La rayabilidad es la resistencia que presenta el recubrimiento a ser rayado y está relacionada con la dureza de la misma.

2.6.6. Características térmicas

En las características térmicas se encuentran la resistencia al calor y el amarillamiento.

La resistencia al calor se incluye debido a que existen ciertos sustratos que están expuestos a cambios de temperaturas y requieren resinas que los recubran. Estas pinturas requieren de resinas o ligantes que mantengan la adherencia de la película.

El amarillamiento es un fenómeno que ocurre normalmente en recubrimientos con tonos claros, en donde las resinas regularmente son afectadas por la luz del sol, el secado, la temperatura y la oxidación proporcionando un envejecimiento de la película, siendo importante esto por la estética del recubrimiento.

2.6.7. Características químicas

Dentro de las características químicas se encuentran: la resistencia a la intemperie, resistencia a la niebla salina y resistencia química a la inmersión.

En la resistencia a la intemperie se busca valorar el comportamiento que tiene a través del tiempo el recubrimiento, esto se logra a través de una exposición real de muy larga duración, o bien, utilizando simuladores de clima artificial, los cuales permiten observar su comportamiento.

Uno de los ensayos más importantes es la resistencia a la corrosión en condiciones de máxima humedad y presencia de salinidad. El método se realiza

mediante comparación, debido a lo complicado de realizar la prueba en condiciones reales de intemperie. Sin embargo, el método es altamente preciso.

En casos de extrema resistencia a productos químicos se valora la resistencia del sistema en inmersión dentro de productos químicos, utilizando diferentes concentraciones y temperaturas, valuando el sistema en intervalos de tiempo uniformes.

2.7. Control de la aplicación de recubrimientos

A pesar de escoger correctamente el recubrimiento a aplicar, si no se aplican de manera correcta, el resultado será deficiente. Esta aplicación deficiente encausa a que las propiedades que se desean no sean logradas y no cumplir con la meta de aplicación.

Es necesario elegir correctamente el sistema de recubrimiento, es importante que sean de buena calidad los materiales y es esencial que el sistema se aplique de manera correcta, solo así, se obtendrán los resultados deseados.

Para que esto se lleve a cabo se debe controlar la aplicación con el fin de cumplir las condiciones ambientales correctas de uso, así como también, el uso de herramientas correctas de aplicación y el cumplimiento de las condiciones para el secado y curado correcto para un resultado final satisfactorio.

Los controles que se llevaran a cabo dependen de dos factores principales, siendo estos las exigencias de la propiedad y el tipo de obra a inspeccionar.

Se debe definir entre fabricante y consumidor, los controles que se van a realizar y en que intervalos de tiempo se harán. Las herramientas más comunes que debe poseer un inspector, deben tener la capacidad de: medir la rugosidad de la superficie chorreada, las condiciones ambientales, película húmeda, película seca, espesores entre capas-número de capas aplicadas, viscosidad, dureza, adherencia, equipo fotográfico y secado.

La rugosidad de la superficie chorreada posee la capacidad de definir la calidad del recubrimiento aplicado, sobre todo para garantías. Esto también influye en los rendimientos y en la corrosión posterior luego de la aplicación de la primera capa. Es necesario medir en todo momento la rugosidad que se está obteniendo. El perfil de rugosidad depende sobre todo de la presión, tamaño, abrasivo y su estructura. Estos aparatos son caros, por lo que regularmente se requiere la realización de las comprobaciones mediante un laboratorio, obteniendo muestras de la obra.

Para la aplicación de pinturas es indispensable controlar las condiciones del ambiente en todo momento, ya que esto afecta el secado y endurecimiento de estas. Se deben controlar principal la humedad relativa de la atmósfera, la cual es la razón entre la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen de aire cualquiera y la necesaria para saturar el mismo volumen. Asimismo, el punto de rocío, la cual es la temperatura en la que la humedad relativa del 100 % el vapor de agua contenido se convierte en vapor saturado o bien en la cual el vapor de agua en el aire comienza a condensarse.

El espesor de la película húmeda se hace por la peineta. Este es un método aproximativo y bastante útil. Su medición se realiza utilizando una sonda electromagnética. La adherencia se mide por rayado cruzado o por la Cruz de San Andrés según norma ASTM.

2.8. Control de sistema aplicado

Una vez aplicado el recubrimiento se llevan a cabo los siguientes controles: adherencia, secado, micraje y porosidad.

El control de porosidad se realiza mediante el “*holiday detector*” en sus dos versiones. Es de vital importancia comprobar en la aplicación, la inexistencia de ampollamientos, *blistering* superficial, descuelgues y otros defectos de aplicación manual.

Una comprobación necesaria en los recubrimientos de alta resistencia química es controlar el grado de catalización. Es imprescindible, para las industrias petroquímicas y similares.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

La generación de las resinas de recubrimiento estará regida por dos variables: la fracción másica de poliestireno y el solvente. En conjunto tendrán efecto en la evaluación de las propiedades medidas: tiempo de secado, densidad y viscosidad de las resinas obtenidas.

Tabla II. Descripción de variables dependientes e independientes

Variable	Unidades	Naturaleza del fenómeno		Tipo de variable	Descripción
		Constante	Variable		
% en masa evaluada	%		X	C	En todas las pruebas
Masa	g		X	NC	Densidad de la resina
Volumen total	ml	X		C	
Aguja viscosímetro	¾	X		C	Viscosidad de la resina Krebs-Stomer
Temperatura de la resina en solución	°C	X		C	
Velocidad viscosímetro Krebs-Stomer	cP		X	NC	
Tiempo de secado	Min		x	NC	Tiempo de secado
Masa de la resina en solución	g	X		C	Color de la resina
Determinación del color	¾		X	NC	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Guatemala
 - Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII/USAC)
 - Sección de Química Industrial
 - ✓ Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
 - ❖ Residuos de poliestireno obtenidos en la ciudad de Guatemala.
 - Empresa privada SEGA
 - Laboratorio de calidad de materia prima

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Gerardo Sebastián De León Salazar

Asesor: Ing. Qco. César Alfonso García

Ing. Qco. Héctor Rolando Méndez Rossal

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

Para el trabajo experimental de la investigación es necesaria el siguiente material:

- Residuos de poliestireno expandido (PS-6)
- Solventes
 - MIBK grado industrial
 - MEK grado industrial
 - Solvente mineral grado industrial
 - Xileno grado industrial
 - IPA grado industrial
 - Butanol grado industrial

- Acetato de butilo grado industrial
- Butil cellosolve grado industrial
- Cristalería
 - Agitador de vidrio de 15 cm de longitud y 0,1 cm de diámetro
 - Probetas de 100 mL de vidrio *pyrex*
 - Beackers de 100 mL de vidrio *pyrex*
- Equipos
 - Auxiliares
 - Agitadores magnéticos de 4 cm de largo y diámetro estándar
 - Plancha de agitación Isotemp sec-4 de 0 a 1 300 rpm
 - Instrumentos de medición
 - Viscosímetro Krebs-Stomer BGD 186
 - Balanza semianalítica EJ-1500 incerteza de 0,1 miligramo
 - Cubeta Gardner estándar
 - Cronómetro Casio HS3 W L.
 - Espectrofotómetro Spectroquant Pharo 300

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Se evaluarán las propiedades químicas y físicas de las resinas obtenidas a través de normas ASTM que conllevan métodos cuantitativos estandarizados para las propiedades medidas. Así, la afinidad de los solventes con el poliestireno se medirá con una prueba cuantitativa: una prueba de solubilidad. Debido a que las variables, tanto dependientes como independientes, serán medidas cuantitativamente, el tipo de investigación a desarrollar será cuantitativa.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Los datos se obtendrán de acuerdo a los procedimientos establecidos por la ASTM en las normas tabuladas en la tabla III.

Tabla III. **Preparación de las resinas de recubrimiento**

Paso 1: evaluación de afinidad de solventes	Paso 2: resinas de recubrimiento
<ol style="list-style-type: none">1. Tomar 10 g del EPS de residuo triturado.2. Agregar 25 ml del solvente.3. Agitar durante 2 minutos a 250 rpm.4. Observar si el EPS de residuo se disolvió y formó una solución homogénea.	<ol style="list-style-type: none">1. Seleccionar los tres solventes de la lista propuesta afines al residuo y que sean de mayor uso comercial por precio y consumo.2. Preparar 1 L de solución al 60 % masa/masa y luego realizar dilución 1 a 1 con la anterior hasta generar soluciones de 30 % y 15 %.3. Almacenar en recipientes cerrados y mantener a temperatura ambiente.

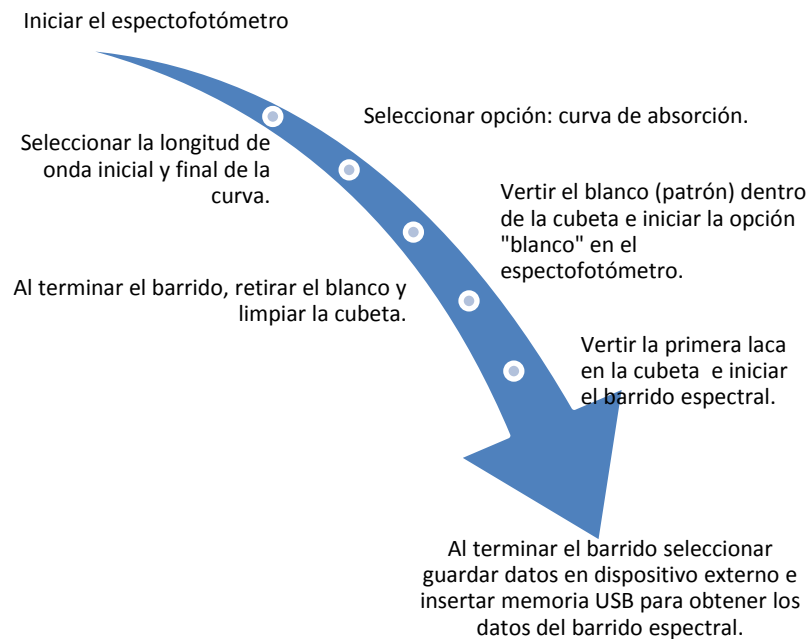
Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Métodos ASTM para evaluación de propiedades**

Propiedad	Norma	Sección 3
Tiempo de secado	ASTM D1640-03	Esta prueba cubre la determinación de varias etapas y mide la formación de el secado de recubrimientos orgánicos usados normalmente bajo condiciones ambientales.
Densidad	ASTM D1963	Esta prueba cubre la determinación de la gravedad específica de aceites de secado, barnices, resinas alquídicas, ácidos grasos y materiales relacionados. Depende de la viscosidad del material, así es el equipo a utilizar, por lo que depende de una prueba de viscosidad.
Viscosidad	ASTM D562	Este método cubre la determinación de la viscosidad aparente para fluidos no newtonianos. Se utilizará un viscosímetro de Krebs-Stomer

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Evaluación de barrido espectrofotómetro uv/visible**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se producirán diferentes soluciones de resina de recubrimiento superficial, con base en el análisis de la afinidad de los solventes, por lo que se generarán tablas de recolección de datos que abarquen todas las posibles concentraciones en las lacas que se puedan obtener.

En la medición de las propiedades de tiempo de secado, viscosidad y densidad se realizaron triplicados en la medición de cada propiedad en cada laca generada. En la realización del barrido espectral uv/visible se realizó solo una vez la curva en el espectrofotómetro.

Tabla V. **Afinidad del poliestireno en función del vehículo de dilución**

Solvente	Constante dieléctrica a 20 °C	¿Se generó una solución homogénea?		Número de solvente seleccionado
Solvente mineral	No aplica	¿Positivo, negativo?	Negativo	No aplica
Butil cellosolve	No aplica	¿Positivo, negativo?	Negativo	No aplica
Tolueno	2,38	¿Positivo, negativo?	Positivo	No aplica
Xileno	2,57	¿Positivo, negativo?	Positivo	1
Acetato de butilo	5,01	¿Positivo, negativo?	Positivo	2
MIBK	13,1	¿Positivo, negativo?	Positivo	3
Butanol	17,8	¿Positivo, negativo?	Negativo	No aplica
IPA	17,8	¿Positivo, negativo?	Negativo	No aplica
MEK	18,5	¿Positivo, negativo?	Positivo	No aplica

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Tiempo de secado de las lacas en función de fracción másica de poliestireno en el vehículo de disolución a 23 °C**

Solvente	Fracción Másica (%)	Tiempo de Secado (min)			
1	15	[S1, 15 %, ts]	8,38	9,07	9,25
	30	[S1, 30 %, ts]	8,18	7,13	8,02
	60	[S1, 60 %, ts]	12,10	13,15	12,67
2	15	[S2, 15 %, ts]	10,20	10,57	10,38
	30	[S2, 30 %, ts]	13,40	13,00	12,12
	60	[S2, 60 %, ts]	10,15	10,20	10,17
3	15	[S3, 15 %, ts]	3,85	4,12	4,35
	30	[S3, 30 %, ts]	2,97	3,00	3,07
	60	[S3, 60 %, ts]	2,38	2,63	2,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Densidad de las lacas en función de fracción másica de poliestireno en el vehículo de disolución a 21 °C**

Solvente	Fracción Másica (%)	Masa medida (g)			
1	15	[S1, 15 %, mp]	212,37	212,37	212,37
	30	[S1, 30 %, mp]	214,04	214,04	214,04
	60	[S1, 60 %, mp]	216,53	216,53	216,53
2	15	[S2, 15 %, mp]	211,54	211,54	211,54
	30	[S2, 30 %, mp]	213,21	213,21	213,21
	60	[S2, 60 %, mp]	216,53	216,53	216,53
3	15	[S3, 15 %, mp]	205,72	205,72	205,72
	30	[S3, 30 %, mp]	208,21	208,21	208,21
	60	[S3, 60 %, mp]	212,37	212,37	212,37
Tara (g)	130				
Volumen definido de la cubeta (mL)	83,205				

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Viscosidad de la laca en función de fracción másica de poliestireno en el vehículo de disolución a 23 °C**

Solvente	Fracción Másica (%)	Viscosidad (cP)			
1	15	[S1, 20 %, vmu]	135	140	145
	30	[S1, 40 %, vmu]	218	233	223
	60	[S1, 60 %, vmu]	4 935	4 930	4 930
2	15	[S2, 20 %, vmu]	27	32	27
	30	[S2, 40 %, vmu]	145	149	154
	60	[S2, 60 %, vmu]	4 015	4 020	4 010
3	15	[S3, 20 %, vmu]	0,75	1	0,5
	30	[S3, 40 %, vmu]	61	61	61
	60	[S3, 60 %, vmu]	4 925	4 925	4 925

Fuente: elaboración propia.

3.8. Diseño del experimento por propósito de análisis estadístico

En el trabajo de graduación se analizó si afecta significativamente el solvente y la concentración de poliestireno expandido, las propiedades que se medirán durante la experimentación. Así como también, que el experimento es aleatorio bifactorial con tres solventes y tres fracciones másica de poliestireno expandido, con un total de 9 muestras. De esta manera, el solvente se determinó como la parte A del árbol y la fracción másica como la parte B.

Tabla IX. Experimento de dos factores

A	B				Total	Media
	1	2	3	4		
S1	Y11	Y12	Y13	Y14	T1.	X1.
S2	Y21	Y22	Y23	Y24	T2.	X2.
S3	Y31	Y32	Y33	Y34	T3.	X3.
Total	T.1.	T.2.	T.3.		T...	
Media	X.1.	X.2.	X.3.			X...

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$T_{i.}$ = suma de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A

$T_{.j}$ = suma de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B

$T_{...}$ = suma de todas las abn observaciones

$X_{i.}$ = media de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A

$X_{.j}$ = media de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B

$X_{...}$ = media de todas las observaciones.

Tabla X. **Varianza en un diseño bifactorial**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	f calculada
Efecto Principal				
A	SSA	$a - 1$	$S^2_1 = SSA / a - 1$	$f_1 = S^2_1 / S^2$
B	SSB	$b - 1$	$S^2_2 = SSB / b - 1$	$f_2 = S^2_2 / S^2$
Interacción de dos factores AB	SS(AB)	$(a-1)(b-1)$	$S^2_3 = \frac{SS(AB)}{(a-1)(b-1)}$	$f_3 = S^2_3 / S^2$
Error	SSE	$ab(n-1)$	$S^2 = SSE / ab(n-1)$	
Total	SST	$abn - 1$		

Fuente: WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 385.

3.9. Plan de análisis de resultados mediante ANOVA

Se analizarán los datos experimentales mediante un análisis de varianza bifactorial, para la validación o rechazo de la hipótesis nula.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según las variables para método ANOVA bifactorial

Se utilizarán las siguientes ecuaciones, extraídas de la referencia 8.

$$F_{n_1, n_2} = \frac{\frac{SST}{k-1}}{\frac{SSE}{n-k}} = \frac{MST}{MSE} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Suma de cuadrados: } SST_{\text{Total}} = \sum X^2 - \frac{(\sum [X])^2}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Suma de cuadrados debido al tratamiento: } SST = \sum \left(\frac{T_c^2}{n_c} \right) - \frac{(\sum [X])^2}{n} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Suma del cuadrado del error: } SSE = SST_{\text{Total}} - SST \quad \text{Ecuación 4}$$

3.9.2. Programas a utilizar para el análisis de datos

Se utilizará Microsoft Excel 2010 por la facilidad que permite este programa de hoja de cálculo, en tabular los datos y realizar los cálculos estipulados de manera rápida, eficiente y precisa.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del procesamiento de los datos obtenidos durante la experimentación para la visualización de las propiedades fisicoquímicas evaluadas de las lacas generadas y su análisis estadístico.

Tabla XI. **Compatibilidad del poliestireno expandido en los diferentes vehículos de disolución a 26 °C**

Solvente	Constante dieléctrica a 20 °C	¿Se generó una solución homogénea?	Número de solvente seleccionado
Solvente Mineral	No aplica	Negativo	No aplica
Butil Cellosolve	No aplica	Negativo	No aplica
Tolueno	2,38	Positivo	No aplica
Xileno	2,57	Positivo	1
Acetato de butilo	5,01	Positivo	2
MIBK	13,1	Positivo	3
Butanol	17,8	Negativo	No aplica
IPA	17,8	Negativo	No aplica
MEK	18,5	Positivo	No aplica

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Elección de vehículos de disolución**

Nomenclatura	Solvente
S1	Xileno
S2	Acetato de Butilo
S3	MIBK

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Prueba de afinidad con solvente mineral**



Fuente: LAFIQ.

Figura 4. **Prueba de afinidad con butil cellosolve**



Fuente: LAFIQ.

Figura 5. **Prueba de afinidad con tolueno**



Fuente: LAFIQ.

Figura 6. **Prueba de afinidad con xileno**



Fuente: LAFIQ.

Figura 7. **Prueba de afinidad con acetato de butilo**



Fuente: LAFIQ.

Figura 8. **Prueba de afinidad con MIBK**



Fuente: LAFIQ.

Figura 9. **Prueba de afinidad con butanol**



Fuente: LAFIQ.

Figura 10. **Prueba de afinidad con IPA**



Fuente: LAFIQ.

Figura 11. Prueba de afinidad con MEK



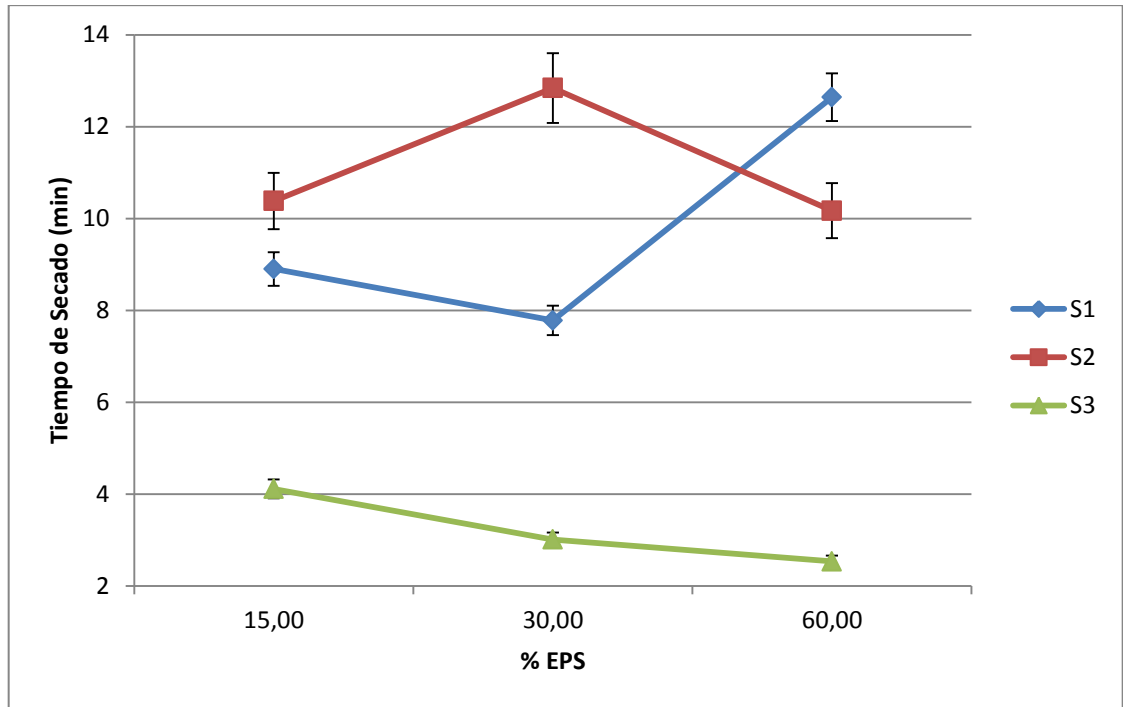
Fuente: LAFIQ.

Tabla XIII. Tiempo de secado de lacas aplicadas en sustrato leneta a 23 °C

Solvente	% EPS	Tiempo de Secado (min)
Xileno	60	12,64 ± 0,43
	30	7,78 ± 0,46
	15	8,90 ± 0,37
Acetato de Butilo	60	10,17 ± 0,02
	30	12,84 ± 0,53
	15	10,38 ± 0,15
MIBK	60	2,53 ± 0,11
	30	3,01 ± 0,04
	15	4,11 ± 0,20

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Gráfica comparativa entre tiempo de secado de laca y vehículo de disolución en función del porcentaje másico de EPS a 23 °C**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Tabla XIV. **Coefficiente de determinación para tiempo de secado en función de la fracción de EPS en disolución**

Solvente	R ²
S1	0,722036
S2	0,066543
S3	0,83897

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **ANOVA bifactorial de tiempo de secado en función de fracción de EPS en disolución**

Relación	F	F crítica	Hipótesis nula
Porcentaje EPS (solvente variable)	11,99197	6,94427191	Rechazada
Solventes (porcentaje EPS variable)	0,084127	6,94427191	Aceptada

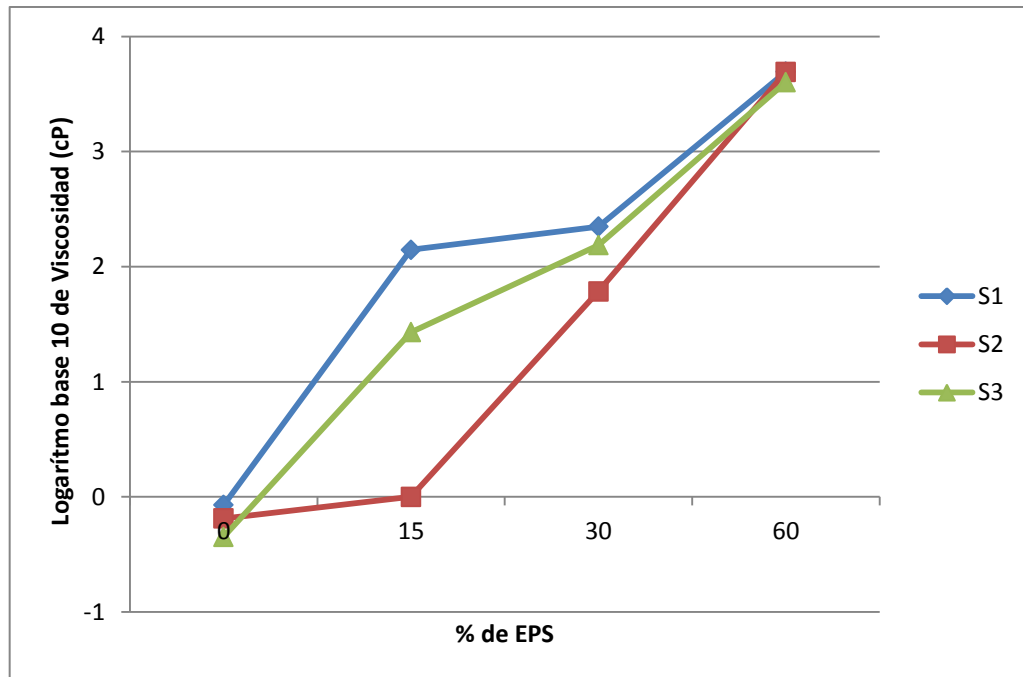
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Viscosidad de lacas generadas en viscosímetro de Krebs-Stomer a 23 °C**

Solvente	% EPS	Viscosidad (cP)
Xileno	60	4931,25 ± 2,16
	30	223 ± 6,12
	15	140 ± 3,53
	0	0,85±0
Acetato de Butilo	60	4925 ± 0
	30	61 ± 0
	15	0,75 ± 0,43
	0	0,65±0
MIBK	60	4016,25 ± 4,14
	30	150,5 ± 3,77
	15	28,25 ± 2,16
	0	0,45±0

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfica comparativa entre viscosidad de laca y vehículo de disolución en función del porcentaje másico de EPS a 23 °C**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Tabla XVII. **Coefficiente de determinación para logaritmo base 10 de la viscosidad en función de la fracción de EPS en disolución**

Solvente	R ²
S1	0,860517173
S2	0,956113269
S3	0,999725281

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **ANOVA bifactorial de viscosidad en función de fracción de EPS en disolución**

Relación	F	F crítica	Hipótesis nula
Porcentaje EPS (solvente variable)	1,165342575	5,143253	Aceptada
Solventes (porcentaje EPS variable)	224,424594	4,757063	Rechazada

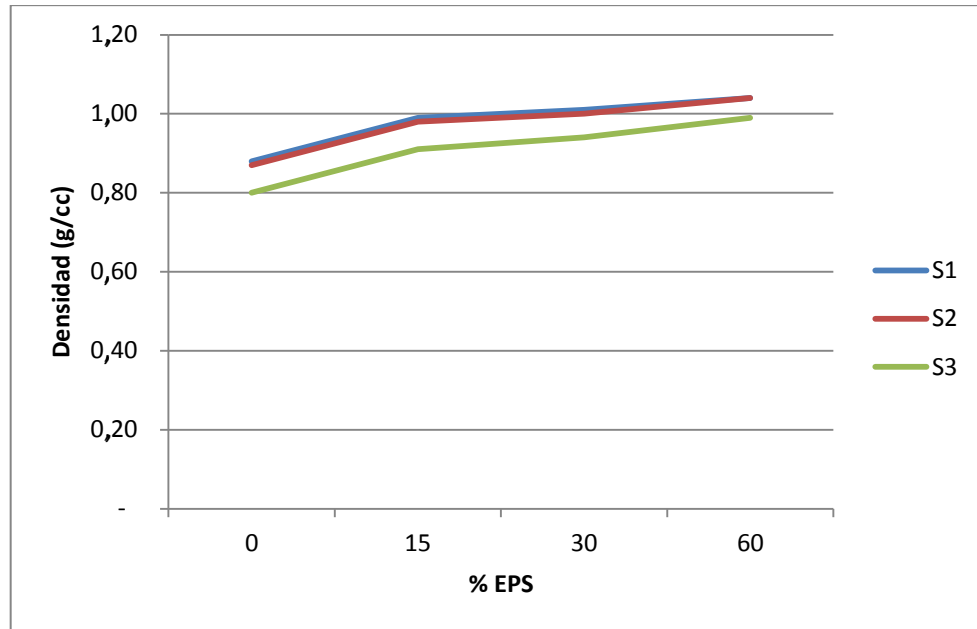
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Densidad de las lacas generadas a 21 °C**

Solvente	% EPS	Densidad (g/cc)
S1	60	1,04
	30	1,01
	15	0,99
	0	0,88
S2	60	1,04
	30	1
	15	0,98
	0	0,87
S3	60	0,99
	30	0,94
	15	0,91
	0	0,8

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Gráfica comparativa entre densidad de laca y vehículo de disolución en función del porcentaje másico de EPS a 23 °C**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Tabla XX. **Coefficiente de determinación para densidad en función de la fracción de EPS en disolución**

Solvente	R ²
S1	0,7523
S2	0,7959
S3	0,8507

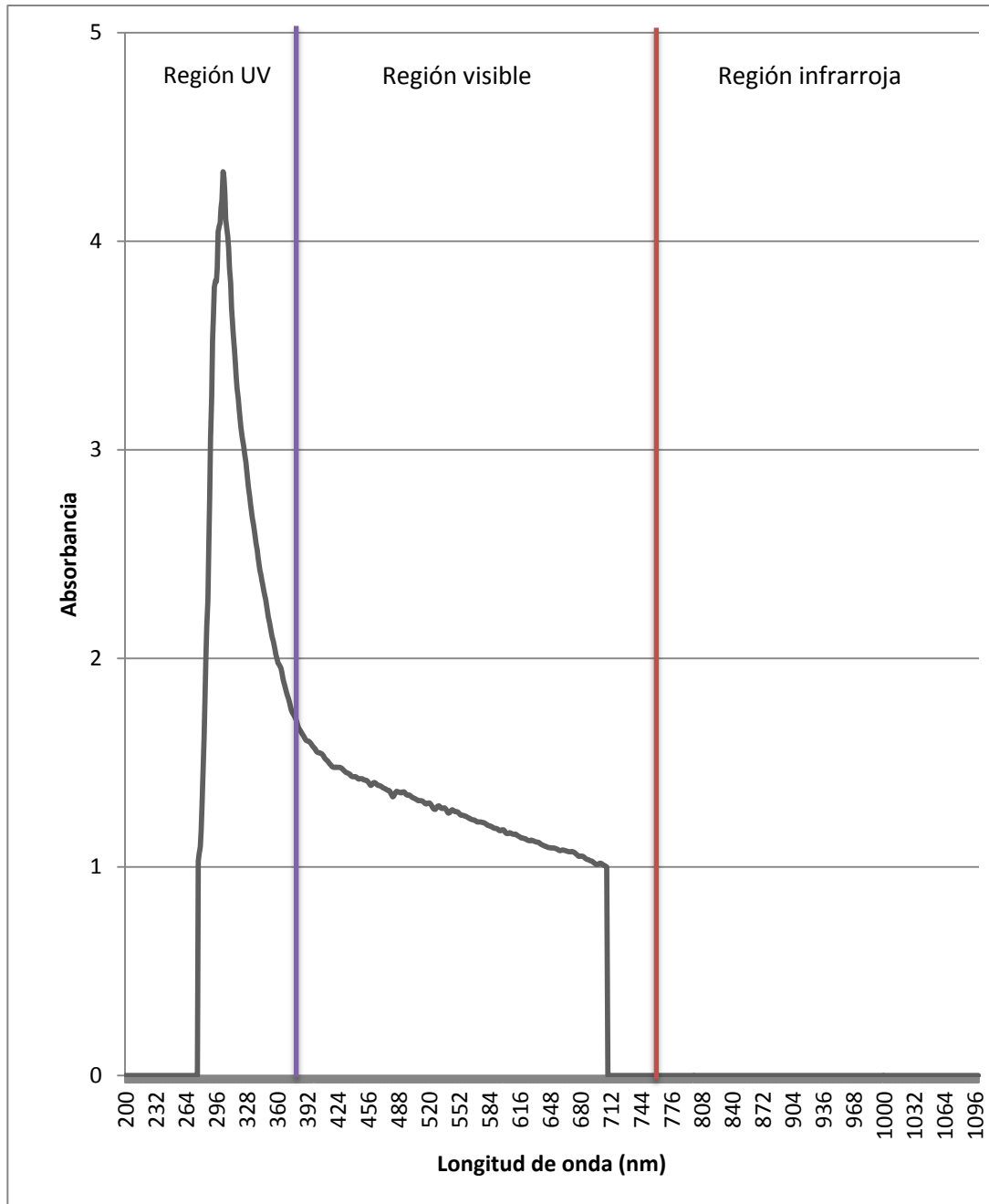
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **ANOVA bifactorial de densidad en función de fracción de EPS en disolución**

Relación	F	F crítica	Hipótesis nula
Porcentaje EPS (solvente variable)	111,9474	5,14325285	Rechazada
Solventes (porcentaje EPS variable)	313	4,757062663	Rechazada

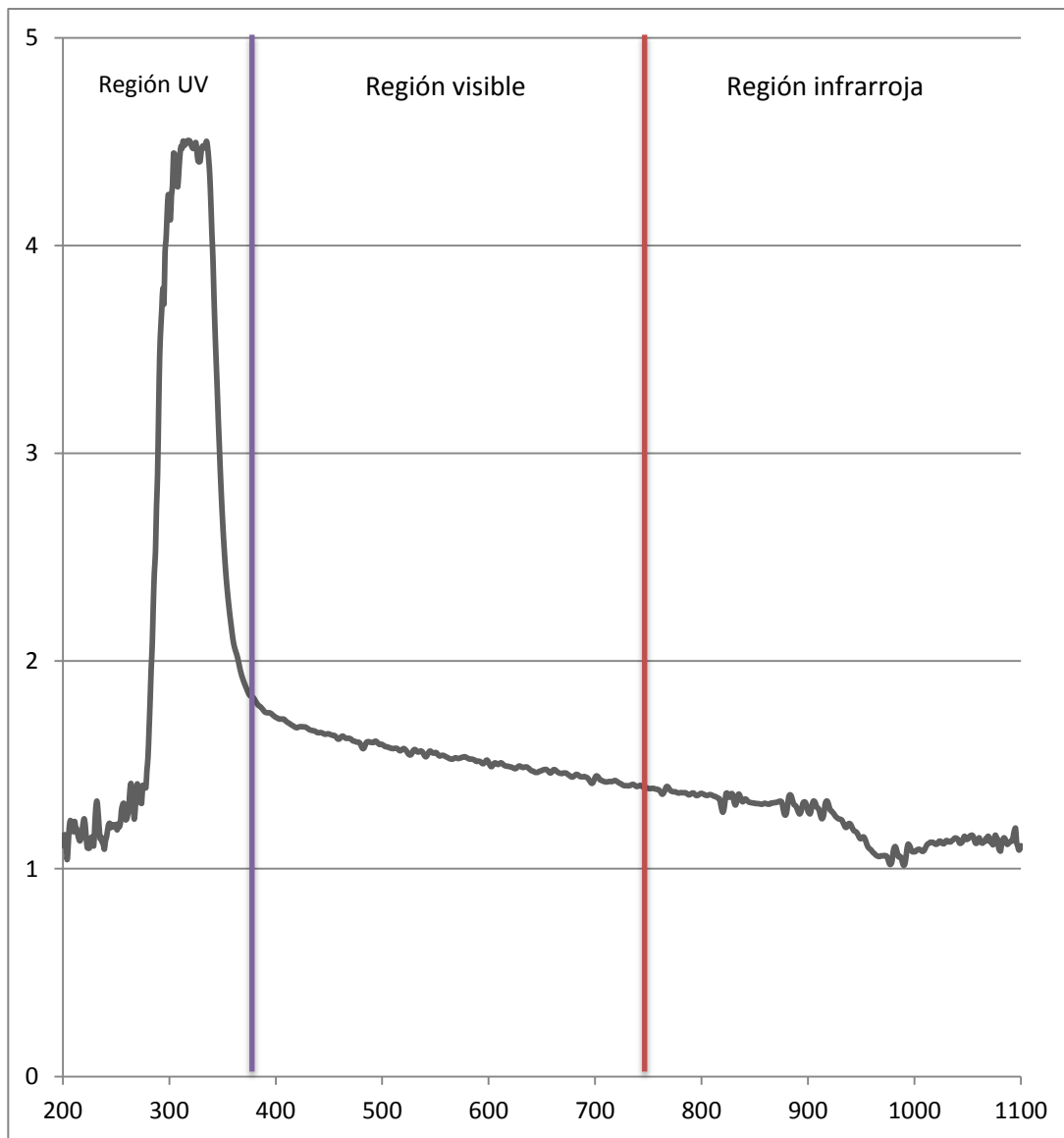
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 60 % EPS en xileno a 26 °C**



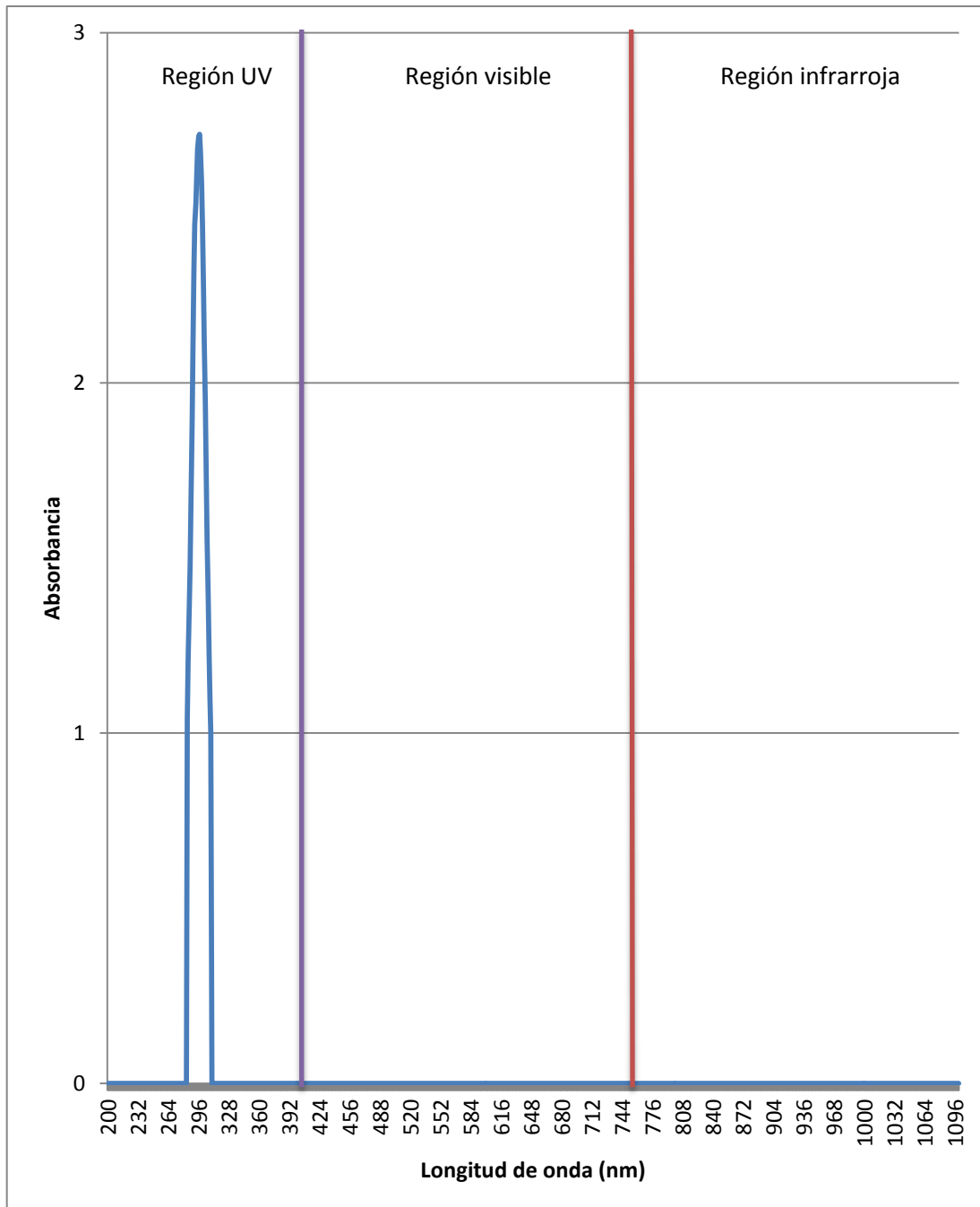
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 16. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 30 % EPS en xileno a 26 °C**



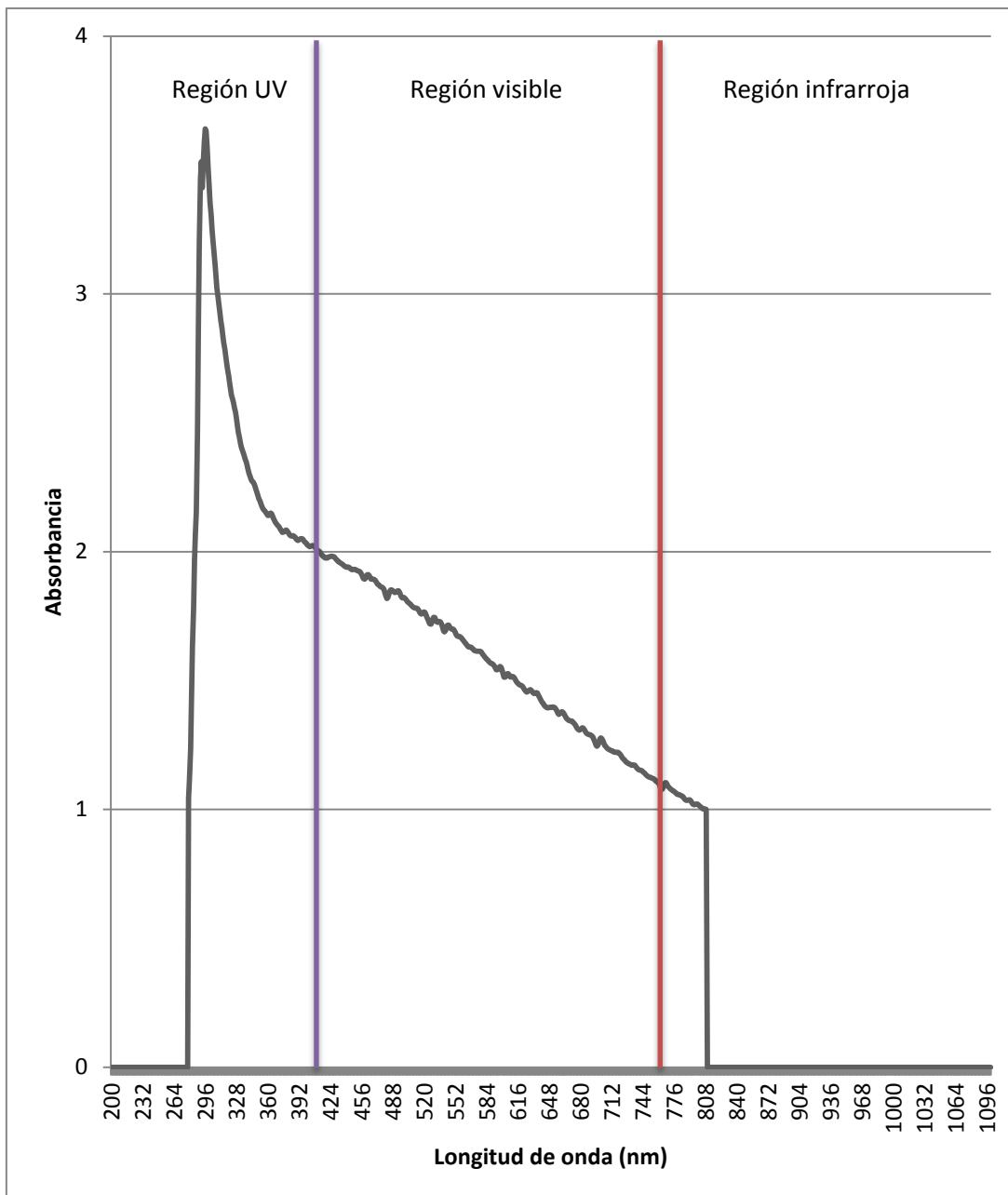
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 17. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 15 % EPS en xileno a 26 °C**



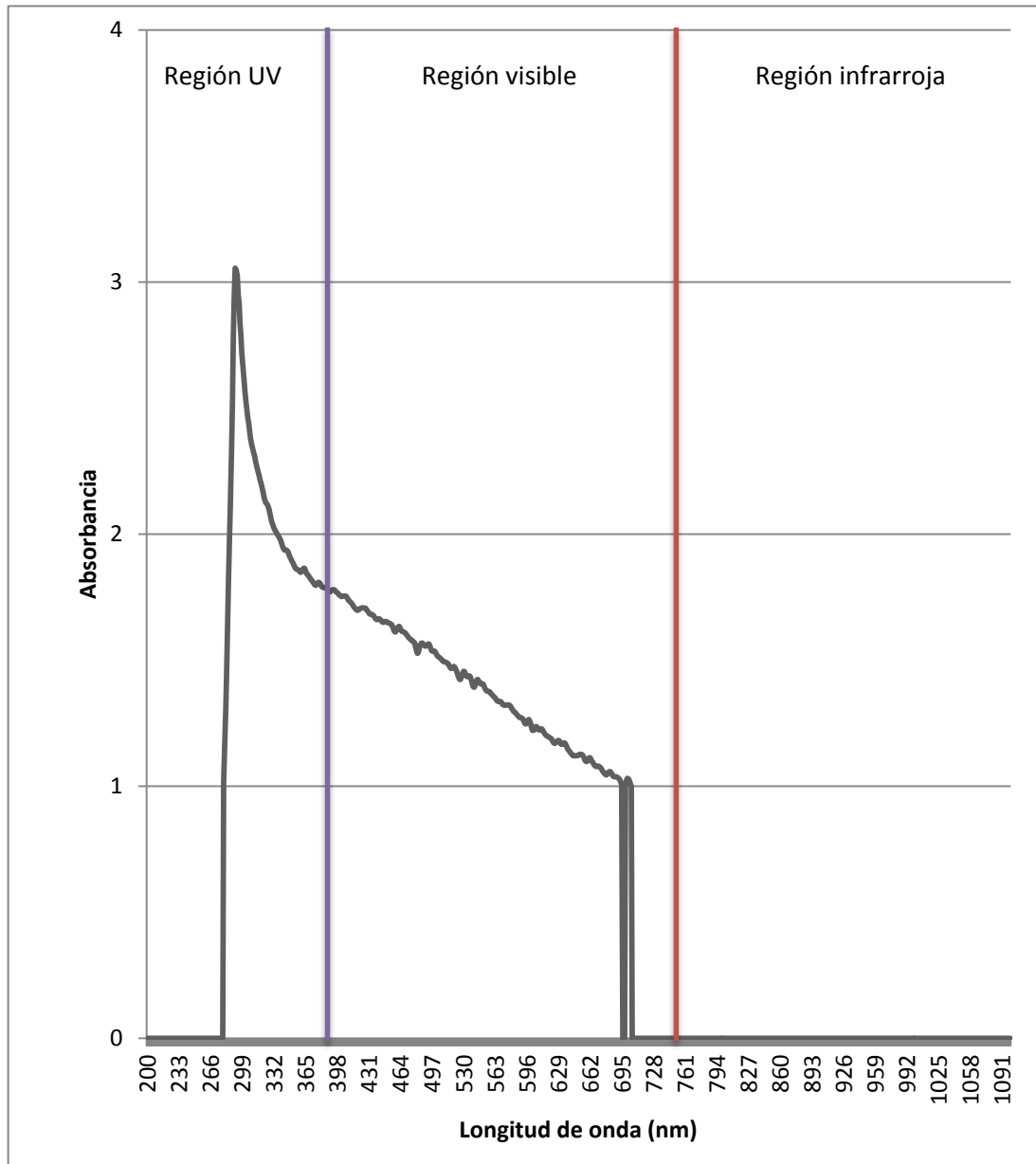
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 18. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda uv/visible de solución al 60 % EPS en acetato de butilo a 26 °C**



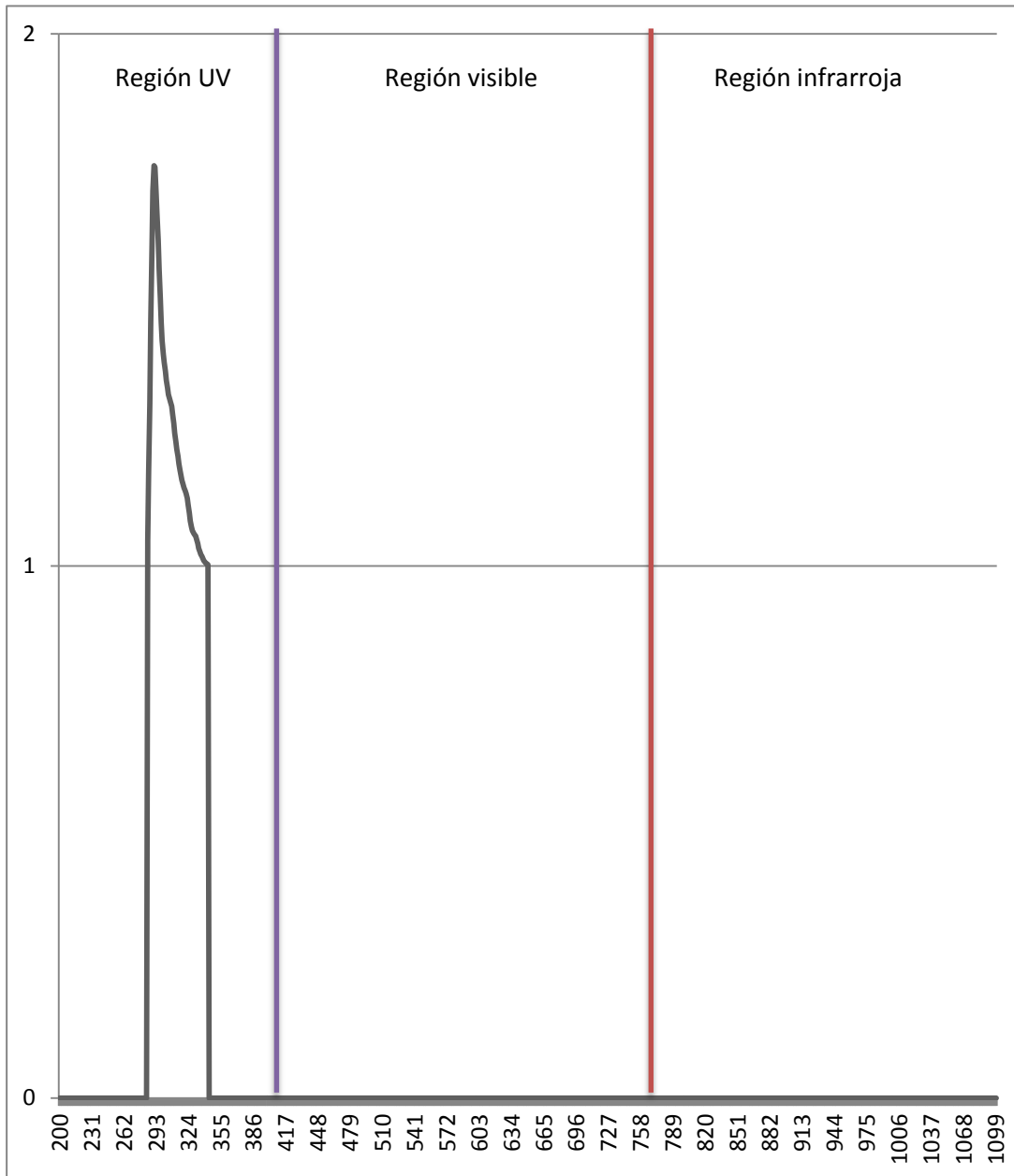
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 19. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 30 % EPS en acetato de butilo a 26 °C**



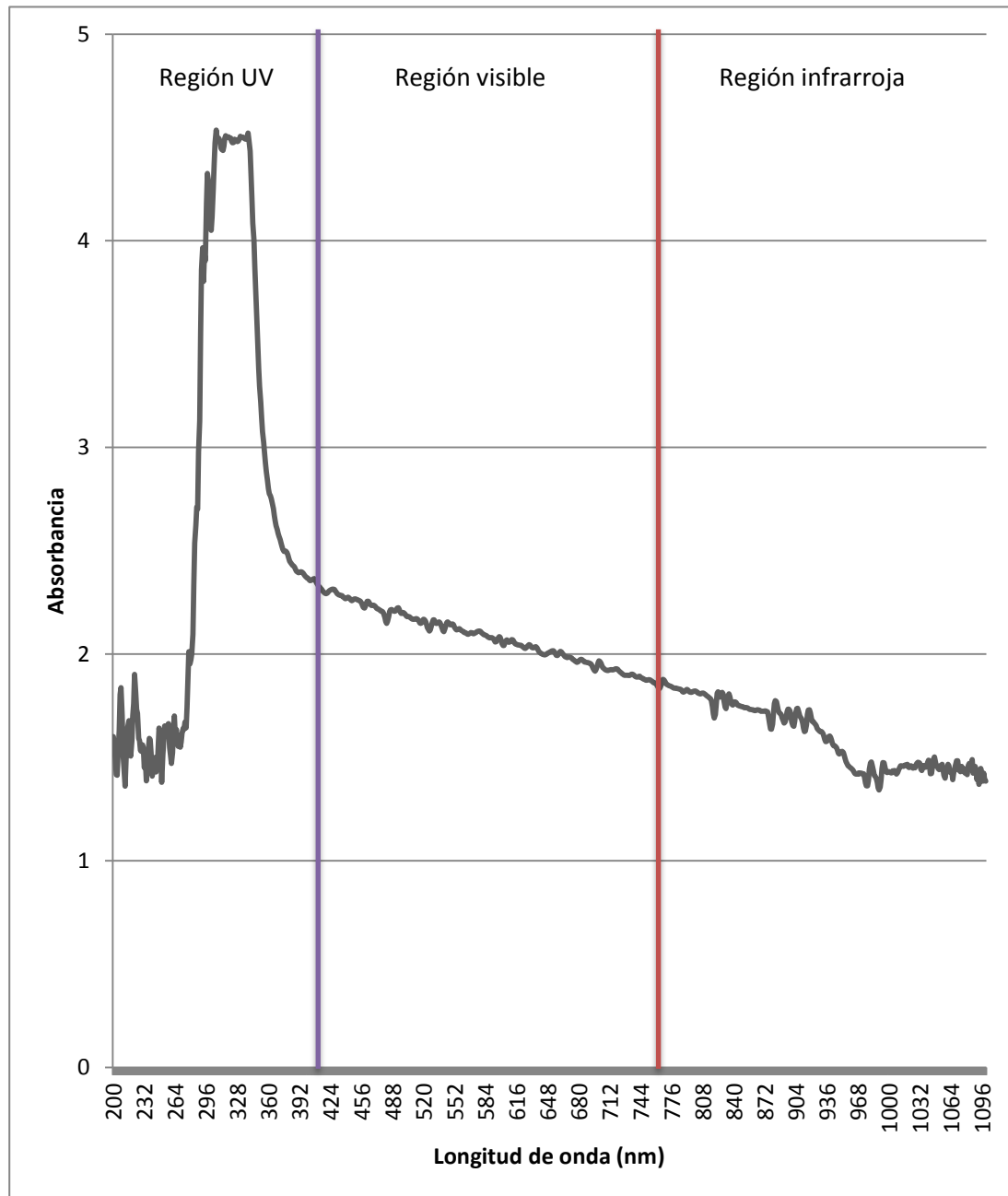
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 20. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 15 % EPS en acetato de butilo a 26 °C**



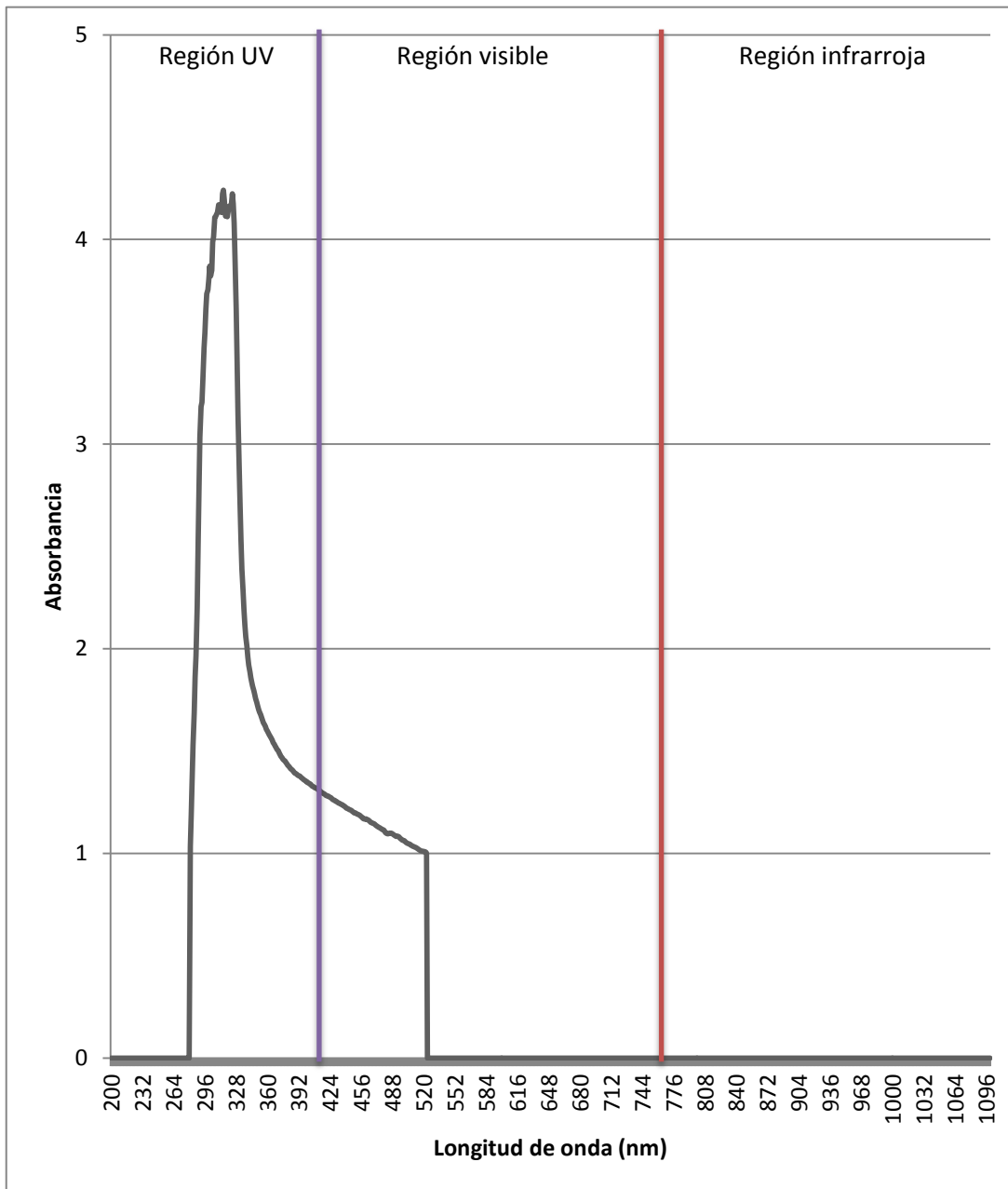
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 21. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 60 % EPS en MIBK a 26 °C**



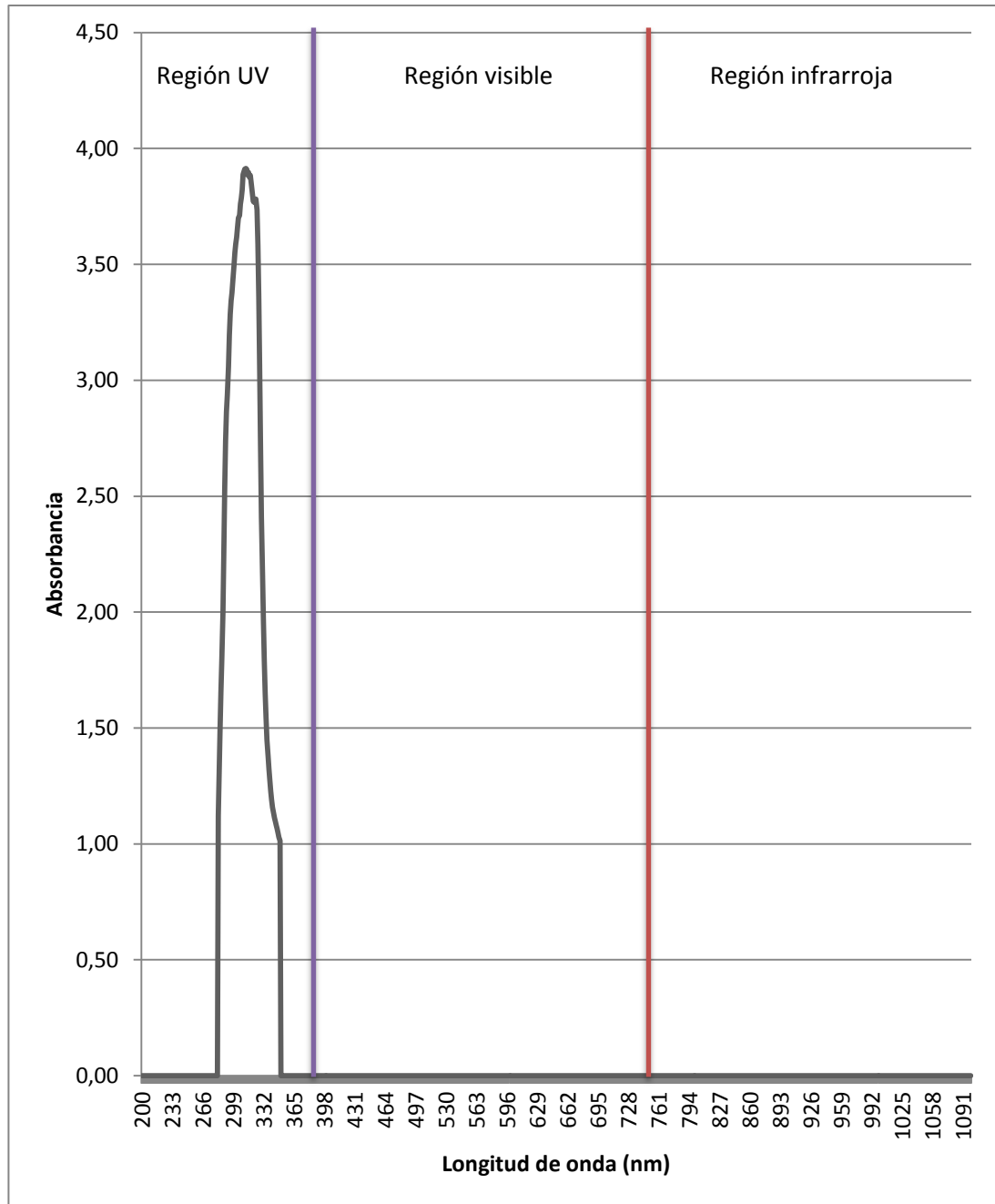
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 22. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 30 % EPS en MIBK a 26 °C**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Figura 23. **Curva absorbancia en función de la longitud de onda de uv/visible de solución al 15 % EPS en MIBK a 26 °C**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Tabla XXII. **Máximos de absorbancia en cada resina**

Solvente	% EPS	Absorbancia Máxima (%)	Longitud de onda de Máxima Absorbancia (nm)	Absorbancia máxima promedio
S1	60	4,33	303	3,848±0,808
	30	4,505	317	
	15	2,71	297	
S2	60	3,64	296	2.816±0,789
	30	3,055	292	
	15	1,752	291	
S3	60	4,503	319	4,218±0,243
	30	4,241	315	
	15	3,91	313	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Análisis de varianza en longitud de onda de máxima absorbancia**

Relación	F	F crítica	Hipótesis nula
Solventes (porcentaje EPS variable)	10,7	6,944272	Rechazada
Porcentaje EPS (solvente variable)	1,28	6,944272	Aceptada

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la prueba de compatibilidad de diferentes solventes con el poliestireno expandido, en dilución, denotó que el poliestireno es de fácil dilución en solventes orgánicos no polares. No obstante, presentó problemas en solventes comerciales que son mezclas de ellos, viéndose este caso en el solvente mineral. Es posible que esta incompatibilidad se haya dado debido a que el solvente mineral contenga un alcohol u otro solvente ligeramente polar en la mezcla.

Se seleccionaron los solventes MIBK, xileno y acetato de butilo, debido a que son de tres grupos funcionales distintos de constantes dieléctricas inferiores a 18, siendo el MIBK una cetona, el xileno un compuesto aromático y el acetato de butilo que pertenece al grupo de los ésteres. Asimismo, se observa también en la prueba que fueron los grupos que dieron positivo, como MEK que pertenece al mismo grupo funcional que MIBK y el tolueno que pertenece al mismo grupo funcional que el xileno.

Otro motivo por lo que se seleccionaron los solventes MIBK, xileno y acetato de butilo es que son de los más utilizados dentro de la industria de la pintura, lo que los hace altamente comerciales y de fácil obtención para el público en general.

En las soluciones generadas se evaluó la propiedad de tiempo de secado, con el fin de observar su comportamiento en aplicación. Los resultados obtenidos muestran que las resinas de recubrimiento generadas con MIBK fueron las que se secaron más rápidamente. Entre las lacas generadas con

xileno y acetato de butilo no se presentó una diferencia notoria entre ellas. La propiedad de tiempo de secado, es importante de evaluar debido a que si, una laca se seca demasiado rápido, presentará problemas en su aplicación. Los tiempos obtenidos en el acetato de butilo, son ligeramente rápidos pero en su aplicación para las pruebas no dieron problema.

En las tendencias observadas se ve que en las lacas generadas con xileno y acetato de butilo, no se obtuvo un comportamiento proporcional al porcentaje de poliestireno disuelto en ellos. No obstante las lacas generadas con MIBK, estas presentaron una relación lineal aceptable, con base en su coeficiente de determinación, por lo que se observa que el tiempo de secado disminuye conforme aumenta la cantidad de poliestireno disuelto en ellas, siendo esto debido a que en la industria de pinturas, los recubrimientos generados con MIBK se consideran de secado rápido, esto es confirmado con los datos obtenidos, que mostraron que las lacas con MIBK fueron de tiempo de secado inferior a las demás lacas.

En las lacas generadas con acetato de butilo, se observó una pobre correlación lineal, por lo que no fue posible observar una clara tendencia en su comportamiento respecto a la cantidad de poliestireno disuelto, esto dificultó la predicción del comportamiento probable, sin embargo, se observó una tendencia parabólica, no es posible confirmar debido a la cantidad de datos experimentales.

En las lacas generadas con xileno, se observó, un comportamiento lineal medianamente aceptable, esto respaldado por un coeficiente de determinación ligeramente cercano a uno. Según este comportamiento, lo más probable es que conforme se aumente la cantidad de poliestireno disuelto en xileno, la laca tendrá un mayor tiempo de secado.

En el análisis de varianza de esta propiedad se encontró que si existe una diferencia significativa en los tiempos de secado de las soluciones generadas, mostrando una clara dependencia de esta propiedad con el solvente utilizado para generar la laca, no siendo así con la variación de porcentaje de poliestireno disuelto en los solventes, por lo que la cantidad de poliestireno disuelto en las lacas no influye significativamente en las propiedades de tiempo de secado. Esto puede ser probable debido a que el único componente que interactúa en esta propiedad es el solvente, siendo el que se pierde de la resina durante el secado.

Lo anterior, es posible afirmarlo ya que se realizaron los experimentos al mismo tiempo, por lo que la comparación se efectuó en las mismas condiciones ambientales, asimismo, el uso de un estándar para que la capa aplicada de todas las resinas fuera del mismo espesor. Este estándar da un espesor de capa de 3 milímetros.

En la viscosidad medida en las lacas, se obtuvo valores altos de viscosidad en las resinas con mayor porcentaje de poliestireno disuelto respecto a los solventes puros, por lo que se presenta una alta influencia del poliestireno disuelto en la propiedad de la laca. Lo más notorio es que la viscosidad tiene un aumento brusco de las lacas con un 30 % de poliestireno disuelto a las que tienen un 60 % de poliestireno disuelto. Esta tendencia se confirma en la figura 3, donde se observó un crecimiento lineal en una escala exponencial de base 10. De igual manera se resalta que se esperaría una viscosidad baja en lacas inferiores al 30 % de poliestireno disuelto, respecto a las que tienen un mayor porcentaje.

La viscosidad, es una propiedad que influye en la estabilidad de aplicación de las lacas para recubrimiento superficial, debido a que la viscosidad influye

directamente en la aplicación de laca. Una laca poco viscosa, como la de los solventes puros utilizados, pasa a ser muy fina, por lo que podría haber derramamiento en los bordes del sustrato al que se busca aplicar, por ejemplo madera para muebles u otros materiales de uso cotidiano en el hogar. Este problema no existe en las lacas con una alta densidad, por lo mismo, para una resina de uso comercial, se tendría que escoger una resina con un mayor porcentaje de poliestireno disuelto en ella. La que obtuvo una mayor viscosidad fue la resina con formulación 60 % de poliestireno disuelto y vehículo de dilución xileno, y la que tuvo menor viscosidad fue la resina de acetato de butilo y 15 % de poliestireno disuelto. El solvente utilizado con menor densidad fue el MIBK y el de mayor densidad fue el xileno.

Los coeficientes de determinación obtenidos son aceptables, siendo el más bajo en el xileno, con 0,860517173, el cual es medianamente cercano a 1, y el que presentó el mejor comportamiento lineal fueron las resinas generadas con MIBK, respaldado el comportamiento con un coeficiente de determinación de 0,999725281, el cual es altamente cercano a 1. Todos estos comportamientos fueron obtenidos al escalar logarítmicamente la viscosidad, en base diez, lo que denota que el comportamiento es claramente exponencialmente proporcional a la cantidad de poliestireno disuelto. De esto, se puede deducir, que existe una relación exponencial en el comportamiento que tiene la viscosidad respecto al aumento de poliestireno disuelto en la resina.

El análisis de varianza muestra que la diferencia significativa es respecto al solvente utilizado, ya que el comportamiento que se obtuvo respecto al porcentaje de poliestireno disuelto no es significativo en el comportamiento que tiene en la resina, por lo que la viscosidad de la resina dependerá mayoritariamente del solvente seleccionado, y el comportamiento que tendrá la

viscosidad respecto al porcentaje de poliestireno disuelto será independiente de este solvente.

En los datos obtenidos de densidad de las resinas se utilizó un estándar (cubeta Gardner) lo cual facilitó la obtención de datos estandarizados, debido a que las mediciones fueron realizadas el mismo día, la temperatura no influyó significativamente en este experimento.

Las densidades se observan con valores aceptables, cercanos a la densidad del agua. Los datos obtenidos tienen consistencia, debido a que al agregar un poliestireno a los solventes, este no aporta un volumen significativo pero si una masa, lo que se traduciría en un aumento de la densidad respecto al solvente puro. Esta tendencia en la densidad se observa claramente en la figura 4, donde se ve que la tendencia de la densidad va incrementando conforme se aumenta la cantidad de poliestireno en disolución.

El valor más alto de densidad se obtuvo con el xileno y el acetato de butilo como vehículos de dilución, siendo este 1,04 g/cc, lo cual tiene sentido, debido a que estos tienen una densidad similar encontrándose en estado puro, variando únicamente por 0,01. La densidad más baja se obtuvo utilizando MIBK como vehículo de dilución, siendo esto también razonable debido a que en estado puro, es el solvente con menor densidad de los tres.

Según la teoría, el rendimiento es proporcional a la densidad, por lo que para uso, se esperaría que la resina con mayor porcentaje de poliestireno y el vehículo de dilución xileno o acetato de butilo fueran los escogidos para proponer una resina de uso comercial. Solo habría que diferir utilizando las demás propiedades medidas.

Los coeficientes de determinación obtenidos en relación de densidad contra porcentaje de poliestireno disuelto respecto de cada solvente, muestran una relación lineal aceptable en los tres, siendo la más baja en xileno, no obstante, un valor de 0,7523 es medianamente cercano a uno.

En el análisis de varianza de la propiedad de densidad se observó claramente que la hipótesis nula fue rechazada, por lo que estadísticamente se comprobó que tanto el solvente usado, como el porcentaje de poliestireno disuelto si tienen una influencia significativa en la densidad de las resinas, por lo que la selección de este porcentaje y el solvente para fabricarla es importante para el valor deseado.

En las curvas de absorbancia contra longitud de onda obtenidas en las diferentes resinas se observó comportamientos similares. Se utilizó agua como blanco. La absorbancia máxima obtenida fue de 4,5 y fue obtenida en dos resinas, la de formulación 30 % de poliestireno disuelto y vehículo de dilución xileno, y la de formulación 60 % de poliestireno disuelto y vehículo de dilución MIBK. La longitud de onda donde se obtuvo la máxima absorbancia en todas las resinas estuvo dentro del rango de 261 a 319 nm. Este rango es inferior al rango de espectro visible, que es de 380 a 750 nm.

Los datos anteriores, muestran que las resinas, no mostrarán ningún color en su aplicación, ya que sus picos de absorbancia se encuentran fuera del espectro visible, de igual manera, las bajas absorbancias obtenidas muestran que son resinas de baja opacidad, siendo todas muy buenas para aplicaciones donde se busque mantener la propiedad del sustrato.

El análisis de varianza, muestra que la cantidad de poliestireno disuelto afecta significativamente en donde ocurre la longitud de onda de máxima

absorbancia; sin embargo, dentro del rango trabajado no influye en la propiedad deseada debido a que están fuera del rango visible. Asimismo, muestra que el solvente no afecta significativamente esta propiedad, esto es aceptable debido a que el solvente mantendrá fijo su longitud de onda de máxima absorbancia.

CONCLUSIONES

1. Es posible generar una resina de recubrimiento superficial mediante la disolución de PES de residuo en diferentes vehículos de disolución.
2. EL poliestireno expandido tiene afinidad con solventes orgánicos puros de constante dieléctrica inferior a 18, pero no con solventes puros con constante dieléctrica mayor a 18 o mezclas de solventes que contengan alguno de estos.
3. El tiempo de secado de las lacas de recubrimiento superficial generadas se ve influida significativamente por el solvente utilizado para su formulación, pero no significativamente por la cantidad de PES de residuo en disolución
4. La viscosidad de las resinas de recubrimiento superficial generadas se ve influida significativamente por el solvente utilizado para su formulación, pero no significativamente por la cantidad de poliestireno disuelto.
5. La densidad de las resinas de recubrimiento superficial generadas se ve influida significativamente por el solvente utilizado y la cantidad de poliestireno disuelto.
6. Las soluciones generadas tienen su máximo de absorbancia en una longitud de onda perteneciente al intervalo ultravioleta.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar las lacas generadas en sustratos que requieran un recubrimiento transparente.
2. Evaluar las propiedades de aplicación brillo, rendimiento y resistencia a la intemperie a las resinas generadas.
3. Evaluar las propiedades de las lacas agregando un pigmento para expandir sus posibles aplicaciones.
4. Utilizar mayor cantidad de datos experimentales en la evaluación de tiempo de secado de las lacas, para definir precisamente el comportamiento que presenta, respecto a la cantidad de EPS disuelto en el solvente.

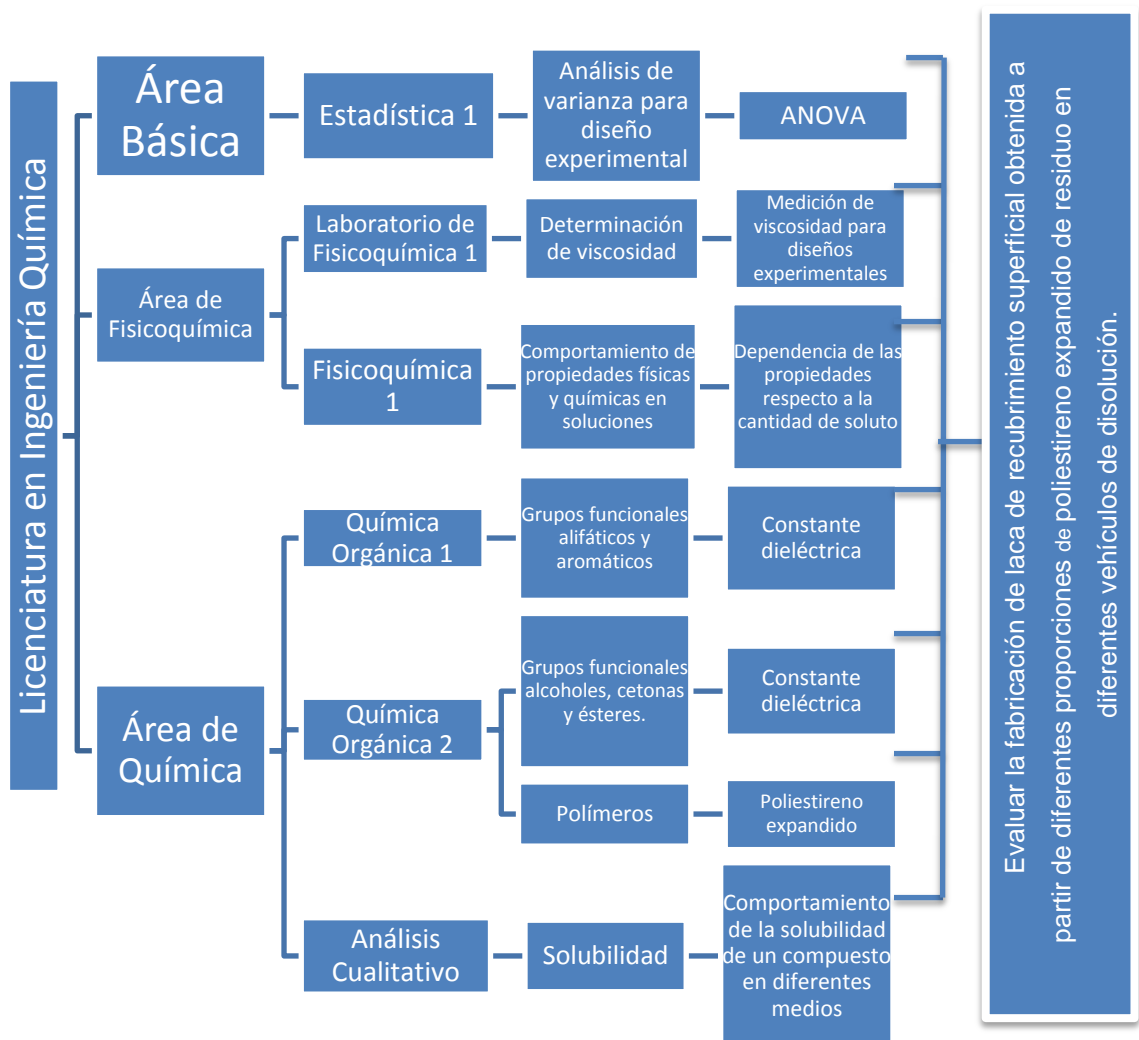
BIBLIOGRAFÍA

1. ALLINGER, Norman L.; et al. *Química orgánica*. 2a ed. Barcelona: Reverté, 1991. 1395 p. ISBN 84-291-7015-4
2. ARRIOLA, Enma Aracely; VELÁSQUEZ; Fidel Ernesto. *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (EPS)*. [en línea]. El Salvador. <[http://ri.ues.edu.sv/5033/1/Evaluaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20de%20alternativas%20de%20reciclaje%20de%20poliestireno%20expandido%20\(EPS\).pdf](http://ri.ues.edu.sv/5033/1/Evaluaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20de%20alternativas%20de%20reciclaje%20de%20poliestireno%20expandido%20(EPS).pdf)> [Consulta: agosto de 2013].
3. *Boletín UNAM-DGCS-418*. [en línea]. <http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009_418.html> [Consulta: 14 de julio de 2009].
4. CÓRDOVA RECINOS, Oscar Giovanni. *Elaboración de una resina de intercambio iónico a partir de la sulfonación y entrecruzamiento de poliestireno expandido reciclado para la separación de iones metálicos en solución*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 148 p.
5. MCMURRY, John. *Química orgánica*. 5a ed. México: Thomson, 2001. 1284 p.

6. Nervion, Pinturas. *Tipos de recubrimientos*. [en línea].
<http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/tipos_rec.php>
[Consulta: 17 de octubre de 2013].
7. PERDOMO, Lorenzo; et al. *Perspectiva de uso del poliestireno expandido como alternativa de impermeabilizante, para electrodos empleados en la soldadura subacuática mojada*. [en línea].
Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquía.
<<http://www.redalyc.org/pdf/430/43025115011.pdf>> [Consulta:
marzo de 2012].
8. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Ricardo Cruz. [trad.] 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamérica, 1999. 752 p. ISBN 970-17-0264-6.
9. WINGROVE, Alan. *Química orgánica*. Mei Mei Alicia Chu [trad.]. México: Harla, 1984. 1569 p. ISBN 968-6034 36-6

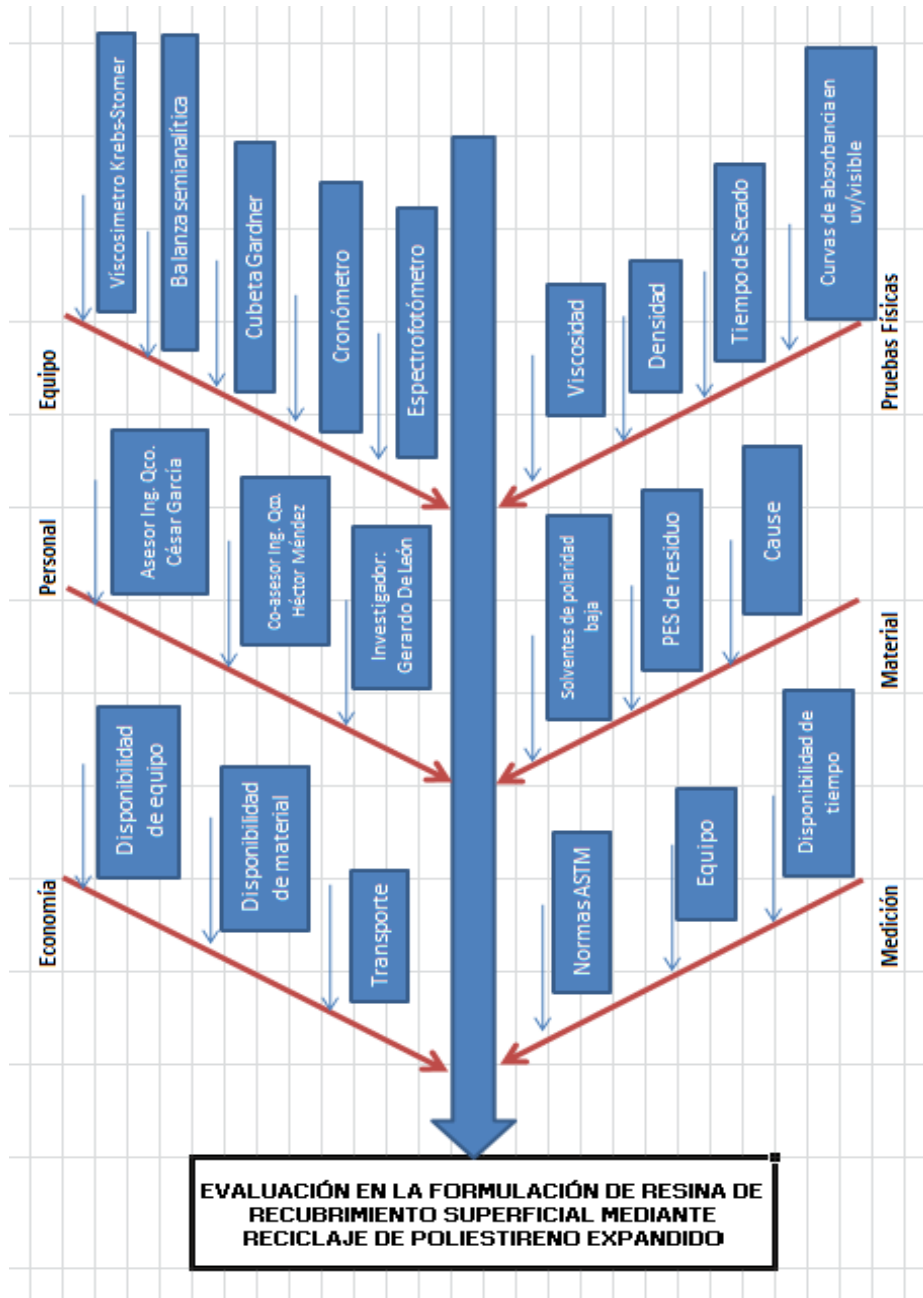
APÉNDICES

Apéndice 1



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2

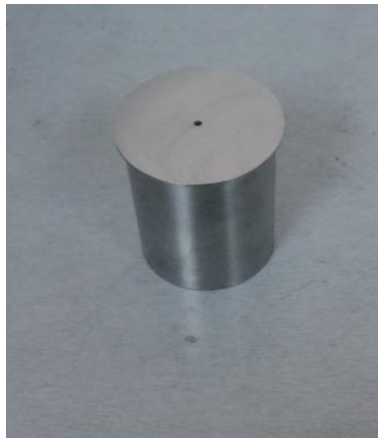


Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Equipos y materiales utilizados en la experimentación

- Cubeta Gardner



Fuente: laboratorio de materias primas de Pinturas Segs.

- Leneta



- Fuente: laboratorio de materias primas de Pinturas Segs.

- Balanza semianalítica



Fuente: laboratorio de materias primas de Pinturas Segs.

- Viscosímetro



Fuente: laboratorio de materias primas de Pinturas Segs.