



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

**ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN
RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS
ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO
EN EL ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD
DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Katherine Leticia Sazo Guardia

Asesorado por el Ing. César Ariel Villela Rodas

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN
RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS
ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO
EN EL ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD
DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KATHERINE LETICIA SAZO GUARDIA
ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JULIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés De La Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIO	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:

**ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN
RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS
ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO
EN EL ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD
DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 30 de julio de 2018.



Katherine Leticia Sazo Guardia

Guatemala 04 de febrero de 2020


Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final de trabajo de graduación titulado: "ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO EN EL ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Katherine Leticia Sazo Guardia, quien se identifica con el registro académico 2014-03789 y con el CUI 3001 35947 01 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

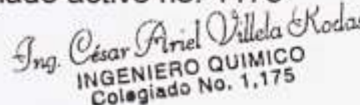
Atentamente,


Ing. César Ariel Villeta Rodas

ASESOR

Ingeniero Químico

Colegiado activo no. 1175


Ing. César Ariel Villeta Rodas
INGENIERO QUIMICO
Colegiado No. 1.175



Guatemala, 27 de febrero de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.010.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **016-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Katherine Leticia Sazo Guardia**.
Identificado con número de carné: **3001359470101**.
Identificado con registro académico: **201403789**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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:

ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO EN EL ÁREA DE FISCOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

César Ariel Villela Rodas, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido 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"

Gerardo Ordoñez
Gerardo Ordoñez
Profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica
EIQD-REG-SG-007

Guatemala, 10 de julio de 2020.

Ref. EIQ.167.2020

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN DENOMINADO **ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO EN EL ÁREA DE FISCOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, del(la) estudiante Katherine Leticia Sazo Guardia, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Williams G. Álvarez Mejía; M.I.G.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**



DTG. 160.2020

La Decana 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: **ELABORACIÓN DE TINTA DE BORRADO EN SECO PARA MARCADORES DE PIZARRÓN RECARGABLES A PARTIR DE UNA DISPERSIÓN COLOIDAL DE PIGMENTOS ALUMÍNICOS Y SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE A NIVEL LABORATORIO EN EL ÁREA DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Katherine Leticia Sazo Guardia**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, julio de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por prestarme la vida para cumplir mis sueños bendiciéndome a lo largo de mi carrera.
- Mi papá** Erick Sazo, por brindarme su apoyo y amor incondicional en cada una de las etapas de mi vida, aconsejándome sabiamente en mis decisiones.
- Mi mamá** Leticia Guardia, que fue el pilar fundamental de mi vida, brindándome su amor, comprensión y confianza, que permanecerán en cada uno de los pasos que dé en mi camino personal y profesional.
- Mis hermanos** Josseline y Erick Sazo, por su apoyo, consejos y cariño a lo largo de mi carrera universitaria.
- Mis amigos** Mischelle Álvarez, Astrid Girón, Bárbara Cabrera, Helen Escobar, William Montenegro, Leslie Velásquez, Carlos Figueroa, Diego Álvarez, Leem Ho, José Valenzuela, Wanda Yoc, Laura Méndez, Andrea Obando, entre otros por brindarme su apoyo y cariño durante mi vida universitaria.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me brindó la oportunidad de desarrollarme académicamente.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para mi formación como ingeniera química.
Mi padre	Erick Sazo, por su apoyo emocional, económico y moral para concluir mi carrera universitaria.
Mi madre	Leticia Guardia, por haber sido la principal guía para mi formación personal y profesional, además de su apoyo económico y moral.
Mis hermanos	Josseline y Erick Sazo, por sus consejos y ayuda durante mis años universitarios.
Mi asesor	Ingeniero Ariel Villela, por compartir sus conocimientos experiencia para ayudarme en la resolución de problemas durante la fase de investigación del presente informe.
Área de Físicoquímica	Por permitirme la realización de mi fase experimental en su laboratorio, apoyándome con el uso del equipo y su tiempo.

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. Tinta.....	3
2.2. Historia de la tinta.....	3
2.3. Componentes de la tinta.....	4
2.3.1. Colorante	4
2.3.2. Pigmentos.....	5
2.3.2.1. Pigmentos aluminicos.....	5
2.3.3. Solvente.....	6
2.3.3.1. Toxicidad de solventes	7
2.3.4. Tensoactivo	8
2.3.4.1. Tensoactivos aniónicos	8
2.3.5. Jabón.....	9
2.4. Tinta permanente	10
2.5. Tinta no permanente	10
2.5.1. Tinta de borrado en seco.....	10

2.6.	Marcadores	11
2.6.1.	Partes de marcador	11
2.7.	Pizarrón de acrílico blanco	12
2.7.1.	Historia del pizarrón de acrílico blanco.....	13
2.8.	Propiedades físicas	14
2.8.1.	Punto de ebullición	14
2.8.2.	Presión de vapor	15
2.8.3.	Viscosidad	15
2.8.3.1.	Viscosímetro de Brookfield.....	16
2.9.	Propiedades coligativas	17
2.9.1.	Ascenso del punto ebulloscópico	17
2.10.	Evaporador rotativo	18
2.11.	Coloides	18
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables	19
3.1.1.	Variables independientes	19
3.1.2.	Variables dependientes	19
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	19
3.3.	Recursos humanos disponibles	20
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	20
3.4.1.	Equipo	21
3.4.2.	Cristalería	21
3.4.3.	Reactivos.....	22
3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa	22
3.5.1.	Separación de pigmentos del solvente en tinta comercial	22
3.5.2.	Identificación de los solventes de tinta comercial por rotaevaporación fraccionada	23

3.5.3.	Ascenso del punto ebulloscópico.....	24
3.5.4.	Viscosidad de la tinta.....	24
3.5.5.	Encuesta para catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica FIUSAC.....	25
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	25
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	27
3.7.1.	Porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial.....	27
3.7.2.	Porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial.....	27
3.7.3.	Ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados al adicionar pigmentos aluminados	28
3.7.4.	Viscosidad de la tinta.....	32
3.8.	Análisis estadístico	35
3.8.1.	Análisis de varianza de un factor	35
3.8.1.1.	Ascenso del punto ebulloscópico.....	35
3.8.1.2.	Viscosidad de la tinta.....	37
4.	RESULTADOS.....	41
4.1.	Porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial.....	41
4.2.	Porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial.....	42
4.3.	Ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados.....	43
4.4.	Viscosidad de la tinta.....	45

4.5.	Formulación de las tintas para marcador de pizarrón de borrado en seco	47
4.6.	Comparación de las tintas formuladas a nivel laboratorio	48
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	53
5.1.	Porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial.....	53
5.2.	Porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial.....	53
5.3.	Ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados	54
5.4.	Viscosidad de la tinta	54
5.5.	Formulación de las tintas para marcador de pizarrón de borrado en seco	55
5.6.	Comparación de las tintas formuladas a nivel laboratorio	57
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura de jabón.....	9
2.	Partes principales del rotulador.....	12
3.	Ascenso de la temperatura de ebullición para el solvente acetona.....	43
4.	Ascenso de la temperatura de ebullición para el solvente isopropanol.....	44
5.	Ascenso de la temperatura de ebullición para el solvente etanol.....	44
6.	Viscosidad de la mezcla en función del porcentaje en peso del jabón en acetona.....	45
7.	Viscosidad de la mezcla en función del porcentaje en peso del jabón en isopropanol.....	46
8.	Viscosidad de la mezcla en función del porcentaje en peso del jabón en etanol.....	46
9.	Uso de marcadores de pizarrón no permanentes en las actividades cotidianas de docencia.....	48
10.	Acción que se realiza cuando se termina la tinta contenida en un marcador.....	49
11.	Marcador que contiene la tinta con mejor olor	49
12.	Fluidez de la tinta.....	50
13.	Saturación de color de la tinta.....	50
14.	Facilidad de remoción de pigmentos de la piel	51
15.	Facilidad de borrado de la tinta en el pizarrón	51
16.	Alergia o incomodidad producida por el contacto de la tinta sobre la piel.....	52

17.	Disposición uso en docencia de las tintas formuladas para rellenar los marcadores de pizarrón.....	52
-----	--	----

TABLAS

I.	Datos experimentales separación de pigmentos de tinta comercial por medio de rotaevaporación	27
II.	Datos experimentales separación de solventes de tinta comercial por rotaevaporación	28
III.	Datos experimentales para el ascenso del punto ebulloscópico de la acetona.....	29
IV.	Datos experimentales para el ascenso del punto ebulloscópico del isopropanol.....	30
V.	Datos experimentales para el ascenso del punto ebulloscópico del etanol.....	31
VI.	Datos experimentales para la medición de la viscosidad de la tinta en las mezclas jabón-acetona.....	32
VII.	Datos experimentales para la medición de la viscosidad de la tinta en las mezclas jabón-isopropanol.....	33
VIII.	Datos experimentales para la medición de la viscosidad de la tinta en las mezclas jabón-etanol.....	34
IX.	Análisis de varianza de un factor para temperatura de ebullición de la acetona.....	35
X.	Análisis de varianza de un factor para temperatura de ebullición del isopropanol.....	36
XI.	Análisis de varianza de un factor para temperatura de ebullición del etanol.....	36
XII.	Análisis de varianza de un factor para la viscosidad de la mezcla acetona-jabón.....	37

XIII.	Análisis de varianza de un factor para la viscosidad de la mezcla isopropanol-jabón.....	38
XIV.	Análisis de varianza de un factor para temperatura de la mezcla etanol-jabón.....	38
XV.	Porcentaje en peso de pigmentos en tinta comercial de marcador de pizarrón.....	41
XVI.	Porcentaje en peso de solventes analizados en la tinta comercial por medio de rotaevaporación.....	42
XVII.	Formulación de la tinta para marcador de pizarrón de borrado en seco a nivel laboratorio.....	47

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cP	Centipoise
S	Desviación estándar
°C	Grados centígrados
g	Gramos
H₁	Hipótesis alternativa
H₀	Hipótesis nula
mL	Mililitros
α	Nivel de significancia
N	Número de tratamientos
%p/p	Porcentaje en peso
T_{eb}	Temperatura de ebullición
μ	Viscosidad

GLOSARIO

Cadena carbonada	Es el esqueleto de prácticamente todos los compuestos orgánicos y está formada por un conjunto de varios átomos de carbono, unidos entre sí mediante enlaces covalentes carbono-carbono y a la que se unen o agregan otros átomos como hidrógeno, oxígeno o nitrógeno, formando variadas estructuras, lo que origina infinidad de compuestos diferentes.
Fluidez	Capacidad de un líquido de mover sus partículas de manera continua y sin interrupciones a una velocidad establecida.
Formulación	Combinación de componentes en relaciones o estructuras basadas en una fórmula establecida.
Marcador	Instrumento de escritura, parecido al bolígrafo, que contiene su propia tinta y cuyo uso principal es escribir en superficies distintas al papel.
Pigmentos	Sustancia normalmente en forma de polvo capaz de teñir y dar un nuevo color a un tejido, alimento; a partir de suspensiones en su vehículo.

Porosidad	Fracción de huecos es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total.
Presión de vapor	Presión de un sistema cuando el sólido o líquido se hallan en equilibrio con su vapor.
Propiedades coligativas	Aquellas propiedades que no dependen de la naturaleza del soluto presente, sino del número de moléculas de soluto en reacción con el número total de estas presentes en la disolución, por adición de un soluto no volátil, aplicable al menos en soluciones diluidas.
Saturación de color	Intensidad o grado de pureza de los colores.
Solventes amigables	Son aquellos solventes que, para su fabricación, utilizan procesos, materias primas y prácticas que requieren de una cantidad menor de energía o recursos naturales, además de poseer un menor daño al a salud del consumidor final y una mayor facilidad de desecho.
Tinta	Sustancia de color, fluida o viscosa, para escribir, dibujar o imprimir.
Viscosidad	Medida de resistencia de un fluido a fluir.

RESUMEN

En la presente investigación se realizó la formulación de una tinta de borrado en seco para ser utilizada como recargas en marcadores de pizarrón, variando los parámetros de porcentaje en peso de cada uno de los ingredientes que la conforman, en un rango fijado de acuerdo a los estudios realizados para cada uno de los componentes.

Inicialmente se realizó el proceso de rotaevaporación de 6 muestras de tinta comercial para obtener una referencia de porcentaje en peso contenido de pigmentos, dando como resultado el menor porcentaje contenido en 19,93 % y el mayor en 34,62 %. Además, mediante el mismo proceso de rotaevaporación se procedió a determinar los posibles solventes contenidos en una muestra de tinta comercial variando las presiones de destilación de los componentes, identificando la presencia de acetato de etilo, isopropanol y etanol, siendo este último el contenido en mayor porcentaje.

Posteriormente se realizó el estudio del ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados en función de la masa añadida de pigmentos alumínicos, en el cual al aplicar la prueba estadística de ANOVA de un factor con un nivel de confianza de 95 % se determinó que la masa añadida no afecta de manera significativa la temperatura de ebullición, y se puede apreciar en su caracterización grafica que presentó una mínima variación de la temperatura en función de la masa de pigmentos.

Se procedió a realizar mediciones del comportamiento de la viscosidad de las muestras de tinta variando el porcentaje en peso de jabón contenido en las

mezclas jabón-solvente, que de acuerdo al análisis estadístico si existe diferencia significativa en la viscosidad de las muestras al variar el porcentaje en peso de jabón contenido, con un nivel de confianza de 95 %. Se realizó la representación gráfica de dicho comportamiento para las tres mezclas jabón-solvente, y se observó comportamientos similares entre ellas, permitiendo fijar un rango general de viscosidades de trabajo que permitiera a la tinta fluir de manera uniforme sin producir derramamiento de esta sobre la pizarra.

El proceso de creación de las tintas se realizó por medio de mezclas de prueba y error, fijando condiciones de trabajo basadas en los estudios anteriormente descritos, siendo estas % p/p de pigmentos aluminicos en un rango de 20 a 35 %; acetona, isopropanol y etanol como solventes, además de un rango de viscosidad comprendido entre 100 a 300 cP. Una vez seleccionadas cuatro tintas que presentaron los mejores resultados en el proceso de formulación, se procedieron a pasar una encuesta a los catedráticos y auxiliares del área de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería, USAC para seleccionar la mezcla optima de tinta de acuerdo a las calificaciones obtenidas en los parámetros de fluidez de la tinta, facilidad de borrado, saturación de color, entre otros.

Conforme a los resultados de la encuesta anteriormente descritos, se concluye que el marcador 2 compuesto por 60 % p/p de jabón, 25 % p/p de pigmentos e isopropanol como solvente, obtuvo los mejores resultados de acuerdo a las personas entrevistadas, siendo esta la formulación optima de tinta para marcador de pizarrón de borrado en seco realizada a nivel laboratorio.

OBJETIVOS

General

Elaborar tinta de borrado en seco para marcadores de pizarrón recargables.

Específicos

1. Determinar el porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial por medio de una rotaevaporación separando los pigmentos de los solventes.
2. Evaluar solventes para la elaboración de tinta de borrado en seco que sea amigable con el medio ambiente conforme a las características obtenidas por rotaevaporación de tinta comercial.
3. Caracterizar gráficamente el ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados al adicionar pigmentos aluminados evaluando la presión atmosférica de Guatemala.
4. Delimitar el rango de viscosidad de las mezclas de tinta de borrado en seco fabricadas a nivel laboratorio que no produzcan derramamiento de la tinta sobre la pizarra.
5. Clasificar las mezclas de tinta de borrado en seco fabricadas a partir de una dispersión coloidal de pigmentos aluminicos y solventes amigables

con el medio ambiente en base a criterios de aceptación y funcionalidad con encuestas realizadas a los catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica FIUSAC en comparación a la tinta comercial.

6. Definir una mezcla óptima de tinta de borrado en seco en base a los resultados obtenidos de los análisis realizados.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo:

Es factible diseñar una fórmula para tinta de borrado en seco a nivel laboratorio utilizando pigmentos aluminados, solventes con amigables con el medio ambiente y jabón; para recargar marcadores de pizarrón no permanentes.

Hipótesis nula:

H_{0, 1}: No existe diferencia significativa en la temperatura de ebullición de la mezcla de tinta y el porcentaje en peso del pigmento a utilizar.

H_{0, 2}: No existe diferencia significativa en la viscosidad de la mezcla de tinta y el porcentaje en peso de jabón líquido.

Hipótesis alternativa:

H_{2, 1}: Existe diferencia significativa en la temperatura de ebullición de la mezcla de tinta y el porcentaje en peso del pigmento a utilizar.

H_{1, 2}: Existe diferencia significativa en la viscosidad de la mezcla de tinta y el porcentaje en peso de jabón líquido.

INTRODUCCIÓN

La tinta es una mezcla formada por pigmentos en suspensión que se utiliza para crear imágenes o textos a través de su aplicación sobre una superficie. La tinta ha poseído una gran variación en sus componentes y formulación para adaptarla a diferentes usos en escritura y artes plásticas.

En la actualidad existe una gran variación de tintas, desde permanentes que impiden que el color una vez aplicado no pueda ser borrado, a tintas de borrado con agua o borrado en seco. Las tintas de borrado en seco hacen referencia a aquellas cuyos pigmentos pueden ser retirados de las superficies no porosas sin necesidad de adicionar un solvente.

Unas de las muchas aplicaciones de la tinta son en la realización de material escolar y de oficina. Actualmente en el ámbito de la enseñanza, los marcadores de borrado en seco son de gran demanda debido a su utilización sobre pizarras de acrílico blanco para los cursos didácticos. Los marcadores de pizarra poseen una amplia presentación de colores y calidades en la industria, así como presentaciones en formato recargable. El formato no recargable ocasiona una gran proliferación de residuos de contenedores plásticos.

Una alternativa propuesta es la creación a partir de materiales económicos y de fácil acceso. Las tintas están compuestas a bases de tres ingredientes principales: solvente, pigmentos y vehículo que atrape el pigmento. Los solventes necesitan tanto poder disolver los pigmentos (Normalmente son solventes orgánicos), y poseer un punto de ebullición que no supere los 100 °C, debido a que es una referencia de su actividad molecular, de manera que las moléculas

de la superficie se evaporen una vez entre en contacto con la superficie en la que será aplicada.

El vehículo consta de una cadena larga de carbonos, que incrementa la viscosidad de la mezcla y permite una aplicación uniforme sobre la superficie. Normalmente se utilizan resinas no polares para marcadores permanentes y polares para no permanentes. Estos pueden ser sustituidos por tensoactivos, que cambian la tensión superficial, modificando la forma de la gota sobre la superficie de aplicación. Los tensoactivos aniónicos son aquellos que fungen como jabones, atrapando la suciedad en las micelas sin ser absorbidas sobre las superficies de aplicación.

Los pigmentos en polvo son aquellos dan el color a la tinta. La ventaja de los pigmentos es que, al ser parcialmente solubles, se quedan suspendidos de manera coloidal sin disolverse completamente, por lo que una vez evaporado el solvente las partículas de pigmento quedan sobre la superficie de aplicación, y además por su tamaño de partícula no se impregnaran sobre los poros.

El presente estudio buscará la fabricación de tinta de borrado en seco a nivel laboratorio, con ayuda de estudios fisicoquímicos para cada uno de los ingredientes de manera que sea posible determinar la mezcla ideal para realizar recargas de tinta de marcadores de pizarra.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala existe una gran demanda de marcadores de pizarrón para el uso en la enseñanza. La mayoría de establecimientos destinados a la educación utilizan una gran cantidad de marcadores que son posteriormente desechados una vez terminada su tinta. En enero de 2017 la revista. El Papel, publicó su artículo número 21 con el tema Marcadores de pizarra: una demanda en ascenso, donde plasmó la creciente demanda de los marcadores, así como una recopilación de los modelos y el alcance de los productos de las empresas líderes en marcadores de borrado en seco para pizarra.

En 2016, National Geographic realizó un segmento en su canal de youtube titulado Ingredients With George Zaidan, a cargo del químico y educador en ciencias George Zaidan. En este segmento se buscaba recrear objetos de uso cotidiano con ingredientes fáciles de encontrar. En el capítulo 10 se analizó, con ayuda de patentes, los ingredientes de los marcadores de borrado en seco. Posteriormente se intentó recrear la tinta, que pigmentó, pero no fue capaz de borrarse.

Las mezclas anteriormente utilizadas en la fabricación de la tinta contenían solventes tóxicos como xileno y tolueno. Un estudio realizado por Del Pilar M. en el año 2007, titulado: Exposición a solventes orgánicos y efectos genotóxicos en trabajadores de fábricas de pinturas en Bogotá, se demostró que los empleados expuestos a los solventes en la fabricación de pinturas presentaron rastros de estos en su orina, y aunque no sufrieron intoxicaciones severas, afecto en pequeña medida su salud.

En 2011 Keith Allison, realizó un resumen sobre los componentes principales de la tinta para el departamento de tecnología y desarrollo para la empresa Binney & Smith Inc. (Crayola), en el detalla las cuatro partes principales que conforman la formulación de una mezcla de tinta: Solvente, colorante, agente de liberación y resina.

En 2017 la revista en línea EcuRed realizó un listado de las diversas marcas existentes de marcadores de borrado en seco que actualmente se encuentran disponibles en el mercado, dichas marcas poseen una gran diversidad en formulación, tipo de marcadores de pizarra que maneja y rango de colores. Cada una de las empresas enlistadas demostró diferentes parámetros de estándares de calidad, teniendo en común la fluidez de tinta y saturación de color, facilidad de borrado y adherencia a la piel.

En 2010 Paricaguan B, realizó un estudio en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo en Valencia sobre el desarrollo de una pintura amigable al ambiente bajo la metodología taguchi, donde se formuló pintura de recubrimiento buscando una combinación de materia prima, utilizando resinas y éteres para la realización de pinturas epoxi, escogiendo la mezcla optima basados en factores como brillo de la pintura, vida útil y calidad.

En 2013 Rivas J, desarrolló un proceso de formulación de la tinta para el rellenado de plumones para pizarrón y desarrollo el proceso de producción automatizado para el rellenado de los mismos, donde se realizaron varios modelos de sistemas para facilitar las recargas de tinta que permitiera seleccionar el color y regular la cantidad de tinta a rellenar, todo esto basado en un análisis realizado de la demanda de marcadores en base a los catedráticos que laboran en la Universidad Tecnológica de Tecámac.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tinta

La tinta consiste en una solución conformada por pigmentos o colorantes que aportan color a una superficie. La tinta tiene una amplia gama de aplicación en objetos de uso cotidiano como bolígrafos, marcadores e impresiones con el fin de crear imágenes o textos.

2.2. Historia de la tinta

La inversión exacta de la tinta es incierta, pinturas rupestres se encontraban desde la época prehistórica, sin embargo, se atribuye la inversión de esta en China, donde se tiene registros de tintas hechas con base a tinturas vegetales naturales.

En la antigüedad la fabricación de la tinta se basaba en la mezcla de pigmentos negros comúnmente llamado humo, un pegamento antiguo y aromas. El proceso de fabricación de estas tintas daba comienzo por una disolución en agua o algún solvente para permitir una aplicación más fluida; en la actualidad esta tinta es conocida como tinta china. Actualmente estas tintas son empleadas en caligrafía o ilustración, sin embargo el proceso de formulación ha sido actualizado remplazando el uso de humo por pigmentos sintéticos que permite ampliar el rango de colores, además de la implementación de ingredientes que permiten características como resistencia al agua y resistencia a la decoloración por exposición a la luz.

2.3. Componentes de la tinta

Las tintas están constituidas por tres componentes principales:

- Un colorante o pigmento que aporte color.
- Solvente que disuelva el colorante y los transporte por la cadena de carbonos.
- Resina que aporte viscosidad y pueda contener los pigmentos homogéneamente distribuidos.

2.3.1. Colorante

Se le llama colorante a toda aquella sustancia de origen químico o biológico, que es capaz de añadir color sobre un material o superficie.

Los colorantes varían dependiendo se usó al que será destinado, variando las características que lo componen. Los colorantes de origen natural, comúnmente vegetales (aunque existen de origen animal), tienen diversas variaciones dependiendo de sus características. Aquellos de origen natural se deben de encontrar en la naturaleza sin intervención del ser humano. Los colorantes de origen sintético se originan a través de una síntesis en un laboratorio o industria.

Los colorantes poseen una infinidad de usos en la industria, estos varían desde aportar color a telas en el ámbito textil a teñir alimentos que den como resultados productos más atractivos hacia el consumidor. El uso de los colorantes varías según el uso al cual se quiere destinar, las variaciones se dan desde su estructura química, afinidad con el medio de transporte, y compatibilidad con las superficies a las cuales quiere ser aplicada.

2.3.2. Pigmentos

Los pigmentos tratan de sustancia comúnmente en polvo de origen natural o artificial, diseñada para aportar color. La principal diferencia entre colorante y pigmento radica en:

- Los pigmentos son insolubles en agua y parcialmente insolubles en diversos solventes, mientras los colorantes tienen un alto nivel de solubilidad.
- Los pigmentos no deben de reaccionar con otros pigmentos o agentes ambientales.
- Los pigmentos deben de tener un alto nivel de aportación de color.
- El tamaño de partícula debe de los pigmentos afecta significativamente su solubilidad y fuerza de color, mientras en los colorantes el tamaño de partícula no es significativo.

2.3.2.1. Pigmentos alumínicos

Los Pigmentos o lacas alumínicas son un tipo especial de pigmento usado comúnmente en la industria de alimentos, usualmente son solubles en solventes orgánicos. Estos pigmentos son aprobados por la FDA (Administración de Alimentos y Fármacos) para su uso en tinción de chicles o pastas.

Los pigmentos alumínicos se preparan a base de un sustrato de alumina, a este se añade carbonato de sodio o hidróxido de sodio. Continuamente se

añade un colorante hidrosoluble y cloruro de aluminio para convertirlo en una sal de aluminio.

Las propiedades de las lacas aluminicas permiten su uso en la coloración de dulces y medicinas en pastilla, una de las principales propiedades es la capacidad de contener un pequeño porcentaje de humedad que permite una coloración más uniforme. Los pigmentos aluminicos han posibilitado la coloración de productos que, debido a su naturaleza, modo de producción o condiciones de almacenamiento no permitía la coloración por métodos tradicionales.

2.3.3. Solvente

Los solventes son todos aquellos compuestos orgánicos que poseen como principal elemento químico el carbón, a excepción del agua que es conocido como solventes universales.

Los solventes son clave fundamental para la realización de tintas debido a su función como vehículo líquido que disuelve y transporta la tinta a través del conducto poroso del marcador. Uno de los solventes más comunes utilizados originalmente para la fabricación de dichas tintas es el xileno y tolueno, sin embargo, debido a los avances en fabricación de pigmentos, estos permiten la disolución en solventes más amigables con el ambiente, como lo son el etanol e isopropanol, cuya toxicidad es menor a los solventes inicialmente utilizados.

El solvente debe de evaporarse en el aire inmediatamente después que la tinta entre en contacto con la pizarra o papel en el que es aplicada, dejando únicamente el colorante y el vehículo sobre la superficie de aplicación.

2.3.3.1. Toxicidad de solventes

El uso de xileno y tolueno era común en el ámbito de fabricación de pinturas, es especial en la fabricación de tintas; sin embargo poseen una naturaleza tóxica que resultaba dañina para la salud después del uso prolongado de estos materiales, debido a esto con el paso de los años estos solventes fueron reemplazados por alcoholes debido a su afinidad como disolventes de los pigmentos modernos.

El Xileno $C_6H_4(CH_3)_2$ es el que se obtiene a partir del Benceno. Los xilenos son buenos disolventes por lo que es su aplicación más común en la industria. Los xilenos son nocivos por su alta toxicidad, debido a que los vapores producidos pueden ocasionar mareos, dolores de cabeza, náuseas y en casos más extremos la pérdida del conocimiento. Sus vapores pueden provocar dolor de cabeza, náuseas y malestar general. Se debe de evitar las exposiciones prolongadas a este solvente debido a que puede ocasionar problemas en el sistema nervioso.

El tolueno ($C_6H_5CH_3$), tiene como principal uso como solvente en pinturas y antidetonante en gasolinas, además de ser un gran disolvente de lascaras y adhesivos. El tolueno es una sustancia nociva si no se cuenta con el equipo de seguridad apropiado en su manejo, aunque su toxicidad es muy inferior a la del benceno. El poder cancerígeno que posee el benceno generado por la oxidación de su anillo aromático, solo se encuentra en una porción inferior al 5 % en el tolueno, sin embargo, se debe considerar su presencia.

La exposición al tolueno puede ocasionar síntomas como cansancio, náuseas, confusión y afectar el sistema auditivo y de la vista, estos síntomas comúnmente se presentan solo durante la exposición directa al tolueno, sin

embargo, la exposición prolongada puede ocasionar problemas al sistema nervioso como la pérdida del conocimiento, además de en casos muy extremos puede ocasionar la muerte.

2.3.4. Tensoactivo

Los tensoactivos, también llamados comúnmente como surfactantes son todas aquellas sustancias que afectan el contacto entre dos fases por medio de la tensión superficial, por ejemplo, el contacto entre dos líquidos no miscibles.

Uno de los ejemplos más comunes de tensoactivos son todos aquellos productos de limpieza que comprenden jabones, detergentes, gel de ducha y champú. Los jabones obtenidos de origen natural también son considerados tensoactivos.

2.3.4.1. Tensoactivos aniónicos

Los tensoactivos aniónicos son comúnmente utilizados en la fabricación de productos de limpieza como jabones y detergentes.

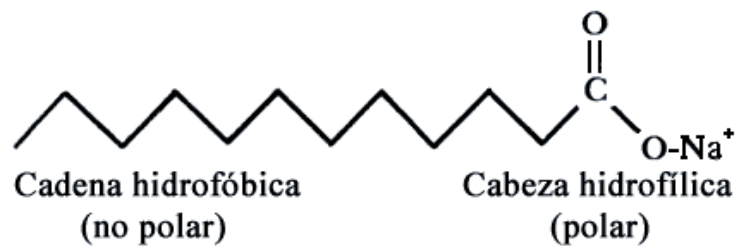
Se llama tensoactivos aniónicos a los tensoactivos que tienen un grupo funcional en la molécula cargado negativamente, sin embargo, para mantener la neutralidad eléctrica, éste está asociado a un catión (ion positivo). Como cada agente tensoactivo, los tensoactivos aniónicos están formados por una parte polar y una parte no polar. La parte no polar son grupos alquilo diferentes. El grupo polar es generalmente un grupo -COO-(carboxilato)-SO₃-(sulfonato), SO₄²⁻-(sulfato) o PO₄³⁻-(fosfato).¹

¹ Brockhaus ABC *Chemie*. p. 503–504.

2.3.5. Jabón

Es un producto en forma líquida o sólida, utilizada principalmente para el uso en higiene personal y lavados de materiales. El jabón está constituido por una cadena larga de carbonos ver figura 1.

Figura 1. Estructura de jabón



Estereato de sodio, jabón común

Fuente: RUIZ, José. *Jabones y detergentes*.

http://www.cubaeduca.cu/media/www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros_2/ciencia3/093/htm/sec_9.htm. Consulta 12 de mayo de 2019.

Existen dos tipos de jabones según su uso: cosmético y limpieza. Comúnmente los utilizados en cosmética o tocador poseen una textura más suave, además de los aditivos que aportan al cuidado de la piel y fragancias. Los jabones comúnmente están elaborados a partir de grasas, y llevan colorantes, factores antisépticos, vitaminas y fragancias. El tipo y textura del jabón depende de la grasa o aceite utilizado en el proceso de saponificación, los jabones líquidos comúnmente son mezclados junto con glicerina para lograr mantener su forma sin solidificarse.

Los jabones líquidos están conformados por una cadena larga de doce a dieciocho carbonos que posee extremos polares o iónicos, sin embargo, el interior de la cadena de la molécula es no polar. Los extremos polares permiten que el jabón sea soluble en agua, mientras que la parte no polar permite la disolución en grasas y aceites.

2.4. Tinta permanente

La tinta permanente es utilizada para evitar que el color aplicado se borre con el paso del tiempo. Estos marcadores poseen una resina cuya función principal se asemeja a un pegamento, lo que asegura que las moléculas de color queden firmemente adheridas a la superficie de aplicación. Estos marcadores deben de ser capaces de resistir el paso del tiempo, además de conservar una buena saturación de color y resistencia a las condiciones del ambiente. El uso de las resinas de esta tinta es no polar, de manera que no es soluble en agua por lo que no puede ser retirada fácilmente.

2.5. Tinta no permanente

La tinta no permanente es aquella que no posee resistencia a factores ambientales ni al paso del tiempo. Estas tintas poseen pigmentos y resinas que son solubles en agua al ser polares, de manera que puede ser retirada con facilidad.

2.5.1. Tinta de borrado en seco

Las tintas de borrado en seco hacen referencia a aquellas que pueden ser retiradas de las superficies en las que se aplicaron sin necesidad de aplicar algún solvente. La diferencia en estas tintas radica en las resinas, las cuales no fungen

como pegamento para mantener el pigmento impregnado, sino que solo aportan consistencia a la tinta. Los pigmentos no deben de impregnarse en los poros de la superficie, de manera que puedan ser retirados con facilidad con cualquier material seco.

2.6. Marcadores

Es un instrumento que contiene tinta en su interior utilizado en la escritura e ilustración. Su funcionamiento es parecido al bolígrafo, cambiando principalmente la medida de la punta de manera que abarque una mayor superficie.

Lo que lo diferencia de plumas antiguas es que posee su propia cavidad que distribuye constantemente tinta, es decir posee su propio depósito, y está conformado por esponjas colocadas en el interior, comúnmente de materiales como fieltro. La punta, también de fieltro, posee una forma redonda o biselada que permite un trazo fluido y grueso haciendo más fácil su uso en grandes superficies. Los marcadores actualmente se pueden encontrar en un sinnúmero de presentaciones y colores, así como acabado mate, metálico o satinado.

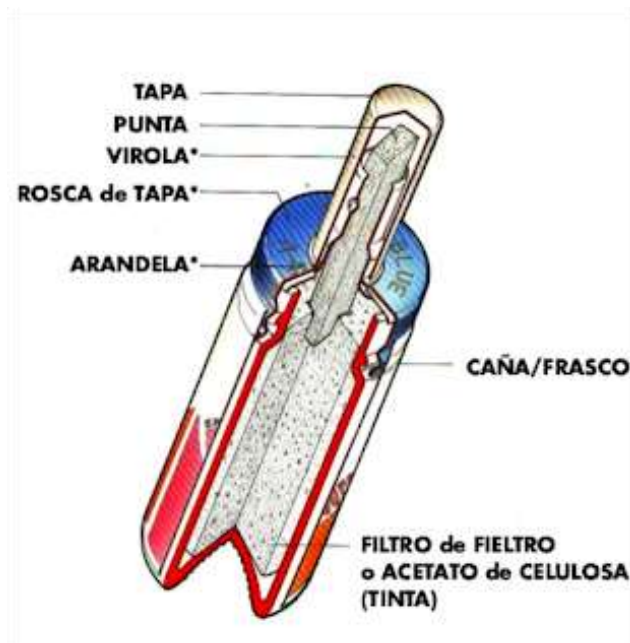
2.6.1. Partes de marcador

Los marcadores deben de tener un contenedor que pueda retener una cantidad determinada de tinta, además de una punta porosa normalmente de fieltro. Componentes como el tapón permiten únicamente que la tinta sea expuesta al ambiente y esta termine por secarse.

Actualmente existen una amplia variedad de modelos en el mercado de marcadores de pizarrón, por lo que puede variar las partes que conforman este

contenedor. Para marcadores recargables puede llegar a diferir en la parte que debe de ser colocada la tinta para su recarga, por ejemplo, para una marca puede ser recargada la tinta en un compartimiento especial, o para otras donde la recarga se da por medio de la aplicación de la tinta directamente en la esponja de fieltro (usualmente para marcas económicas).

Figura 2. **Partes principales del rotulador**



Fuente: GARCÍA, Helena. *Técnica rotuladora*. <http://ilustrandoenlaescueladearte.blogspot.com/2012/11/tecnica-rotulador.html>. Consulta: 13 de mayo de 2019.

2.7. **Pizarrón de acrílico blanco**

Se llama pizarrón de acrílico blanco una superficie compuesta, comúnmente por un rectángulo de color blanco cuya superficie lisa permite la escritura sobre su superficie con un marcador especial de borrado en seco. Actualmente es un instrumento esencial en todas las aulas de estudio, sustituyendo las antiguas pizarras de tiza. La principal ventaja de estas pizarras sobre las de tiza radica en

un uso más amplio de colores, además de que su superficie blanca permite una mayor visibilidad de escritura.

En la actualidad existen variaciones modernas de las pizarras de acrílico blanco, estas variaciones van desde pizarras que permiten escribir y borrar sobre la superficie de una pared por medio de la aplicación de una pintura especial a tableros modernos que permiten la visualización de material digital.

La superficie blanca permite una mayor visualización de los colores, además de la ventaja de resaltar con luz artificial al ser utilizados en altas horas de la noche, además de su sencillo mantenimiento y limpieza.

Comúnmente los pizarrones poseen una base de madera que es utilizada para anclar las pizarras a la pared, además de un borde de aluminio para cubrir las esquinas. Las pizarras poseen un recubrimiento o esmalte que permite aumentar el tiempo de vida útil de estas.

2.7.1. Historia del pizarrón de acrílico blanco

Martin Heit es el inventor de la pizarra blanca, fue un fotógrafo coreano que utilizaba marcadores sobre la película de los negativos mientras revelaba sus fotografías. Él observó una facilidad de borrado al pasar un paño por encima de estas, borrando fácilmente los rastros de color. Su principal idea fue la de colocar una película sobre un muro para tomar apuntes de memos durante las llamadas telefónicas.

Los primeros modelos fueron realizados utilizando los negativos de las películas, esta idea fue vendida a la empresa Dri-Mark, esta cambió la estrategia

de marketing como un producto utilizable para la educación, surgiendo así el concepto de pizarra de acrílico blanco.

Las primeras ventas se realizaron en la década de 1960, sin embargo, la popularidad de dicho instrumento era baja debido a sus altos costos de venta. Sin embargo gracias a las molestias ocasionadas por los polvos de tizas que desprendían al usar las pizarras convencionales, las escuelas comenzaron a realizar los cambios para evitar problemas de salud en los docentes, esta popularidad comenzó a crecer en la década de 1990.

2.8. Propiedades físicas

Las propiedades físicas son todas aquellas que definen el estado y son medibles, estas deben de ser capaces de ser representadas en magnitudes.

2.8.1. Punto de ebullición

El punto de ebullición es definido como la temperatura en la cual la presión de vapor del líquido estudiado es igual a la presión del medio ambiente. De manera informal también puede definirse como la temperatura en la que ocurre un cambio de fase de líquido a estado gaseoso.

Cabe recordar que la temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas, por lo que a temperaturas inferiores al punto de ebullición una pequeña fracción de las moléculas de la superficie que rompen la tensión superficial puede llegar a cambiar de estado.

2.8.2. Presión de vapor

La presión de vapor es definida como la presión que una fase gaseosa de un sólido o líquido se encuentra en equilibrio dinámico a una temperatura específica, de manera que es independiente de la cantidad de líquido o vapor existente en cada fase.

Este equilibrio es conocido comúnmente como vapor saturado, y posee una relación inversamente proporcional con las fuerzas moleculares, es decir que a mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y ocasionar el cambio de estado.

Inicialmente cuando se parte de un líquido, existe solo el proceso de evaporación, sin embargo, una vez se crea suficiente vapor en el sistema se puede dar un proceso de condensación del vapor producido, en cierto punto se igualan las velocidades de evaporación y condensación, alcanzando la presión máxima (presión de vapor), y solo podrá superarse al aplicar un incremento en la temperatura del sistema.

La presión de saturación es dependiente de la naturaleza del líquido, manteniendo similitudes en líquidos que poseen similar estructura química, siendo de presión inversamente proporcional al peso molecular del líquido.

2.8.3. Viscosidad

La viscosidad es comúnmente definida como la resistencia de un fluido al movimiento, es decir la resistencia a las deformaciones producidas por esfuerzos aplicados a un fluido.

La viscosidad surge de colisiones entre las partículas de un fluido que se encuentra en movimiento a una velocidad determinada, provocando la resistencia a dicho movimiento. La viscosidad de las partículas se ven afectada por la distancia de estas a la superficie de movimiento, por ejemplo, en un tubo las partículas del centro poseerán una velocidad de movimiento mayor a las que se encuentran en contacto con las paredes del tubo, ocasionando una mayor resistencia. La tensión cortante aplicada a dicho fluido ocasionará que se rompa la fricción entre el fluido y la superficie de contacto, permitiendo que este continúe en movimiento, esta tensión puede ser una diferencia de presión.

2.8.3.1. Viscosímetro de Brookfield

El viscosímetro Brookfield es un viscosímetro de tipo rotacional que puede efectuar mediciones rápidas de viscosidad a diversas velocidades de rotación, permitiendo identificar con relativa facilidad el comportamiento de algunos fluidos no newtonianos. Emplea un sistema de agujas intercambiables, que se acoplan a un motor de velocidad controlada; la torca aplicada por el motor es medida empleando un resorte calibrado con precisión.

Una ventaja de este viscosímetro es que la muestra se puede medir directamente en un vaso de precipitado estándar de 600 mL; sin embargo, esto se vuelve una desventaja si la cantidad de muestra disponible es menor a 400 mL. Para casos en los que el volumen de la muestra sea menor, o que se requiera una geometría cilíndrica definida para poder obtener valores precisos de esfuerzo cortante y rapidez de deformación, el viscosímetro de Brookfield cuenta con un adaptador para muestras pequeñas.

2.9. Propiedades coligativas

Existen algunas propiedades de las sustancias que se ven definidas por la naturaleza del soluto como su color, sabor, densidad, viscosidad, conductividad eléctrica, entre otros. Otras propiedades son dependientes del disolvente, aunque pueden ser modificadas por el soluto como tensión superficial, índice de refracción, viscosidad, entre otras. Sin embargo, hay otras propiedades más universales que sólo dependen de la concentración del soluto y no de la naturaleza de sus moléculas. Estas son las llamadas propiedades coligativas.

Las propiedades coligativas no guardan ninguna relación con el tamaño ni con cualquier otra propiedad de los solutos. Son función sólo del número de partículas y son resultado del mismo fenómeno: el efecto de las partículas de soluto sobre la presión de vapor del disolvente.²

2.9.1. Ascenso del punto ebulloscópico

La temperatura de ebullición de un líquido es aquella en la que su presión de vapor iguala a la atmosférica.

Cualquier disminución en la presión de vapor (como al añadir un soluto no volátil) producirá un aumento en la temperatura de ebullición, esto debido a que su presencia en la superficie del líquido dificulta que las moléculas puedan escapar de la fase líquida al ambiente, lo que requiere un aumento en la energía cinética de las partículas por medio de un aumento de temperatura. La elevación de la temperatura de ebullición es proporcional a la fracción molar del soluto. Este aumento en la temperatura de ebullición es proporcional a la concentración molal del soluto.

² LEVINE, Ira N. Equilibrio de fases en sistemas de un componente y superficies. *Principios de fisicoquímica*. p. 218.

2.10. Evaporador rotativo

Un evaporador rotativo o rotavaporador es un dispositivo empleado para la eliminación o recuperación de solventes a baja presión, por lo que no requiere trabajar a altas temperaturas. Los evaporadores de vacío funcionan bajo el principio de la destilación al vacío, ya que al disminuir la presión por encima de una solución generalmente se reducen los puntos de ebullición de los líquidos que lo componen.

Una ventaja de la evaporación rotativa es que permite la separación de azeótropos debido a su trabajo con presiones, lo que permite también separar compuestos que serían sólidos a temperatura ambiente. Los evaporadores rotativos permiten una aplicación uniforme de calor en baño maría por medio de la rotación del balón de muestra, que puede ser regulado según las especificaciones que incluye el catálogo de solventes de algunos equipos.

2.11. Coloides

Son todas aquellas mezclas, normalmente entre un líquido y partículas de un sólido (Aunque también se puede encontrar en combinación de todas las fases), que poseen partículas en suspensión.

“Normalmente los coloides contienen partículas cuyo tamaño se encuentra entre 1 a 1 000 nm y un medio en el cual las partículas se dispersan, sin llegar a una completa solubilidad.”³

³ LEVINE, Ira N. Coloides. *Principios de fisicoquímica* p. 314.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se enlistan las variables independientes y dependientes de la investigación.

3.1.1. Variables independientes

- Concentración solvente (% p/p)
- Concentración jabón (% p/p)
- Masa de pigmentos aluminados (g)

3.1.2. Variables dependientes

- Temperatura de ebullición (°C)
- Viscosidad (cP)

3.2. Delimitación del campo de estudio

La presente investigación se realizó por medio de un estudio cuantitativo y cualitativo, analizando los datos en el área de fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se realizó la caracterización de los componentes de la tinta comercial por medio de una rota-evaporación realizada el LIEXVE USAC, para obtener un porcentaje en peso de pigmentos en suspensión. Además, se realizó una rota-

evaporación fraccionada de la tinta comercial para identificar los solventes contenidos por medio de la separación individual variando presiones y temperaturas de trabajo.

Además, se realizó el estudio del ascenso del punto ebulloscopio variando el porcentaje en peso de pigmentos alumínados en los solventes seleccionados, determinando la variación entre la temperatura de ebullición de la mezcla y la cantidad de soluto contenida.

El último factor a analizar fue la comparación de la tinta comercial con las tintas diseñadas, por medio de una encuesta donde se pidió calificar un total de 4 muestras de tinta formulada a nivel laboratorio a los catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería USAC, donde calificaron en una escala de 1 a 10 diversos parámetros que permitieron seleccionar una mezcla óptima en base a la satisfacción en el uso de la tinta como recargas para marcadores de pizarrón.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigadora: Br. Katherine Leticia Sazo Guardia

Asesor: Ing. Qco. César Ariel Villela Rodas

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación, se enlistan los materiales utilizados durante el desarrollo experimental de la investigación.

3.4.1. Equipo

- Instrumentos de medición
 - Balanza analítica marca KERN
 - Termómetro digital marca HUAMAO
 - Viscosímetro de Brookfield

- Equipo auxiliar
 - Cámara fotográfica
 - Computadora
 - Espátula de metal
 - Impresora
 - Marcadores de pizarrón vacíos
 - Parafilm
 - Plancha de calentamiento
 - Tapones de hule
 - Tubos de hule

3.4.2. Cristalería

- Agitadores de vidrio
- Balones aforados 500 mL
- Balones de dos bocas 500mL
- *Beakers* 250 MI
- Condensador
- Erlenmeyer 250mL
- Perlas de ebullición
- Picnómetro 50 mL

- Pipetas 10 mL
- Pipetas 1mL
- Pipetas 2mL
- Probetas 10mL
- Termómetro de mercurio
- Varillas de agitación

3.4.3. Reactivos

- Agua destilada
- Jabón líquido aniónico
- Pigmentos aluminados
- Etanol grado industrial
- Acetona grado industrial
- Isopropanol grado industrial
- Tinta comercial de borrado en seco para marcadores de pizarra

3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

A continuación, se enlistan los procedimientos cuantitativos y cualitativos utilizados en la investigación.

3.5.1. Separación de pigmentos del solvente en tinta comercial

- Se seleccionaron tres marcas de tinta comercial para marcadores de borrado en seco.

- Las muestras fueron llevadas al laboratorio de LIEXVE USAC, donde se realizó la separación por rotaevaporación con muestras iguales de 20mL cada una.
- Se colocaron 20mL de tinta dentro de un balón, y luego se procedió a rotaevaporarlo hasta que el destilado alcance un volumen constante.
- Los pigmentos obtenidos fueron pesados y comparados con el peso inicial de la tinta para obtener su porcentaje en peso.
- Los datos obtenidos fueron anotados y utilizados como punto de comparación para el diseño en la formulación de tinta.

3.5.2. Identificación de los solventes de tinta comercial por rotaevaporación fraccionada

- Se vertieron 60 mL de una muestra de tinta comercial para marcadores de pizarrón de borrado en seco en un balón de 100 mL.
- Se conectó el balón al rotaevaporador asegurando el equipo para evitar cualquier tipo de fuga.
- Se realizó un listado de los solventes más probables que pudieran estar contenidos en la tinta comercial.
- Se dio inicio al proceso de rotaevaporación, seleccionando en la pantalla del catálogo de solventes del rotaevaporador el solvente que se deseaba separar, iniciando con el que poseía un menor punto de ebullición.
- Se mantuvo funcionando el rotaevaporador hasta llegar a una masa constante de destilado, tomando nota del peso.
- Se repitió el proceso con el cada uno de los solventes de la lista.
- En base a los datos conseguidos se seleccionó 3 solventes para la formulación de la tinta.

3.5.3. Ascenso del punto ebulloscópico

- Se utilizó el balón de dos bocas, colocando en el interior 2 perlas de ebullición, en la boca lateral un termómetro y en la boca central colocar el condensador.
- Se verificó que no existan fugas en el sistema y se repararon las existentes con parafilm y teflón.
- Se agregaron 100 mL de solvente en el balón, colocando el termómetro justo debajo de la superficie del líquido.
- Se añadieron 5 g de pigmentos aluminados a la mezcla.
- Se calentó el balón tomando las medidas de temperatura hasta alcanzar la ebullición, anotando los datos obtenidos. Este procedimiento se repitió 4 veces.
- Se enfrió el balón.
- Se repitió el procedimiento adicionando 5 g más de pigmentos aluminados, hasta que se completaron 5 corridas.
- Se repitieron los pasos 3 a 8 utilizando un nuevo solvente.

3.5.4. Viscosidad de la tinta

- Se montó el viscosímetro de Brookfield
- Se colocó en un *beaker* una mezcla con un porcentaje p/p de 40 % de jabón en el solvente seleccionado.
- Se sumergió el vástago en el líquido a medir hasta la marca que figura sobre el eje.
- Se bajó el viscosímetro sobre su soporte fijando el vástago al eje. Se comprobó la verticalidad y temperatura.
- Se presionó el botón MOTOR ON/OFF para que el motor comience a funcionar. La pantalla mostró el porcentaje de torca del motor.

- Se dejó que la medición del viscosímetro alcance un valor constante y se procedió a anotarla.
- Se repitió el procedimiento cuatro veces más.
- Los pasos anteriormente enlistados fueron repetidos aumentando 10 %.

3.5.5. Encuesta para catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica FIUSAC

- Se prepararon 4 mezclas de tinta diseñadas en base a los resultados y observaciones realizados en las pruebas anteriores.
- Se citaron a cada uno de los catedráticos y auxiliares de manera individual en un salón que poseyera una pizarra de acrílico blanco.
- Se le entregaron los cuatro marcadores identificados de 1 a 4, y la encuesta, indicando que se debía probar cada uno de manera individual antes de contestar cada pregunta.
- Una vez terminada la encuesta se pidió la devolución de los marcadores y la encuesta terminada.
- Se procedió a citar a otro catedrático o auxiliar, entregando los mismos marcadores, repitiendo el proceso descrito anteriormente.
- Se repitió el proceso hasta completar todos los catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizó la medicación del porcentaje en peso de tres tintas de marca comercial, cada una en los colores rojo y negro, dando un total de seis unidades experimentales para la separación de pigmentos de la tinta comercial por medio de rotaevaporación.

Inicialmente se había considerado la realización de una cromatografía de gases para la identificación de los posibles solventes contenidos en la tinta comercial, sin embargo debido a la carencia de laboratorios que realizan este examen para la realización de alcoholes, se procedió a realizar otra rotaevaporación variando las presiones de vapor de los solventes, permitiendo separar los alcoholes de manera individual realizando el proceso separando inicialmente los que poseen un menor punto de ebullición.

Continuamente se realizó la medición del ascenso del punto ebulloscópico, donde se tomaron las temperaturas de ebullición de unas mezclas de solvente-pigmentos, para los solventes acetona, isopropanol y etanol, variando la masa de los solventes en un rango de 5 a 25 g, en unidades de 5 g, dando un total de 5 mediciones tomando un total de 5 repeticiones para cada una.

Seguidamente se realizó la medición de las viscosidades de la tinta de unas mezclas jabón-solvente, para los solventes acetona, isopropanol y etanol, variando el porcentaje de jabón contenido de 40 a 80 % p/p con 5 repeticiones para cada una de las muestras, además se realizaron pruebas en una pizarra para determinar el rango de viscosidades donde la tinta fluyera de manera uniforme sin ocasionar derramamiento de esta.

Finalmente se realizó una encuesta a los catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica de la escuela de ingeniería química, FIUSAC para determinar la mezcla óptima de tinta, calificando ciertas características en una escala de 1 a 10.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación, se muestran los datos tabulados recolectados durante la investigación.

3.7.1. Porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial

Los datos obtenidos del proceso de separación de pigmentos por medio de rotaevaporación se presentan a continuación.

Tabla I. **Datos experimentales separación de pigmentos de tinta comercial por medio de rotaevaporación**

Marca de tinta	Color	Peso inicial (g)	Peso final (g)	%p/p
Marca 1	Negro	17,18	3,68	21,43
	Rojo	16,03	3,20	19,93
Marca 2	Negro	16,85	5,83	34,62
	Rojo	16,07	5,33	33,16
Marca 3	Negro	17,11	5,82	33,99
	Rojo	17,95	5,44	30,28

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial

Los datos obtenidos del porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial se presentan a continuación.

Tabla II. **Datos experimentales separación de solventes de tinta comercial por rotaevaporación**

Solventes	Peso inicial del balón (g)	Peso final del balón (g)	Peso del solvente (g)	% en peso
Acetona	261	261	0	0
Metanol	261	261	0	0
Acetato de etilo	261	264	3	6,52
Etanol	261	300	39	84,78
Isopropanol	261	265	4	8,70
Alcohol propílico	261	261	0	0
Agua	261	261	0	0
Tolueno	261	261	0	0
Xilol	261	261	0	0

Fuente: elaboración propia.

3.7.3. Ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados al adicionar pigmentos aluminados

Los datos obtenidos del ascenso del punto ebulloscópico de los solventes acetona, isopropanol y etanol contenidos en tinta comercial se presentan a continuación.

Tabla III. **Datos experimentales para el ascenso del punto ebulloscópico de la acetona**

No. Repetición	Peso pigmentos aluminicos (g)	T _{eb} (°C)	T _{eb} Promedio (°C)	S T _{eb} (±°C)
1	0	56	56,20	0,45
2		56		
3		56		
4		56		
5		57		
1	5	57	56,40	0,55
2		56		
3		56		
4		56		
5		57		
1	10	56	56,60	0,55
2		57		
3		56		
4		57		
5		57		
1	15	57	56,60	0,55
2		56		
3		57		
4		56		
5		57		
1	20	57	56,80	0,45
2		57		
3		57		
4		57		
5		56		
1	25	57	57,20	0,45
2		58		
3		57		
4		57		
5		57		

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Datos experimentales para el ascenso del punto ebulloscópico del isopropanol**

No. Repetición	Peso pigmentos aluminicos (g)	T _{eb} (°C)	T _{eb} Promedio (°C)	S T _{eb} (±°C)
1	0	83	82,20	0,45
2		82		
3		82		
4		82		
5		82		
1	5	83	82,40	0,55
2		83		
3		82		
4		82		
5		82		
1	10	83	82,60	0,55
2		82		
3		83		
4		83		
5		82		
1	15	82	82,60	0,55
2		82		
3		83		
4		83		
5		83		
1	20	82	82,80	0,45
2		83		
3		83		
4		83		
5		83		
1	25	83	82,80	0,45
2		83		
3		83		
4		83		
5		82		

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Datos experimentales para el ascenso del punto ebulloscópico del etanol**

No. repetición	Peso pigmentos aluminicos (g)	T _{eb} (°C)	T _{eb} Promedio (°C)	S T _{eb} (±°C)
1	0	78	78,4	0,54772256
2		79		
3		79		
4		78		
5		78		
1	5	78	78,4	0,54772256
2		78		
3		79		
4		79		
5		78		
1	10	78	78,6	0,54772256
2		78		
3		79		
4		79		
5		79		
1	15	79	78,6	0,54772256
2		78		
3		79		
4		78		
5		79		
1	20	78	78,8	0,4472136
2		79		
3		79		
4		79		
5		79		
1	25	79	78,8	0,4472136
2		79		
3		79		
4		78		
5		79		

Fuente: elaboración propia.

3.7.4. Viscosidad de la tinta

Los datos obtenidos de viscosidad de la tinta se presentan a continuación.

Tabla VI. **Datos experimentales para la medición de la viscosidad de la tinta en las mezclas jabón-acetona**

No. Repetición	Porcentaje en peso de jabón (%p/p)	μ (cP)	μ Promedio (cP)	S μ (\pm cP)
1	40	12	11,80	1,92
2		15		
3		11		
4		11		
5		10		
1	50	27	27,40	6,07
2		20		
3		24		
4		30		
5		36		
1	60	124	117,60	12,44
2		108		
3		114		
4		106		
5		136		
1	70	280	268,80	10,43
2		278		
3		256		
4		261		
5		269		
1	80	340	345,60	18,06
2		369		
3		342		
4		321		
5		356		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos experimentales para la medición de la viscosidad de la tinta en las mezclas jabón-isopropanol**

No. repetición	Porcentaje en peso de jabón (%p/p)	μ (cP)	μ Promedio (cP)	S μ (\pm cP)
1	40	20	19,80	6,06
2		29		
3		16		
4		13		
5		21		
1	50	45	38,60	7,30
2		47		
3		32		
4		31		
5		38		
1	60	147	147,60	5,68
2		156		
3		142		
4		150		
5		143		
1	70	311	321,40	13,96
2		345		
3		311		
4		321		
5		319		
1	80	389	379,60	5,73
2		377		
3		381		
4		376		
5		375		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos experimentales para la medición de la viscosidad de la tinta en las mezclas jabón-etanol**

No. repetición	Porcentaje en peso de jabón (%p/p)	μ (cP)	μ Promedio (cP)	S μ (\pm cP)
1	40	16	14,40	2,30
2		14		
3		11		
4		14		
5		17		
1	50	29	32,80	3,77
2		37		
3		33		
4		36		
5		29		
1	60	137	133,00	8,22
2		139		
3		128		
4		121		
5		140		
1	70	299	299,20	8,01
2		301		
3		311		
4		289		
5		296		
1	80	345	358,00	12,51
2		378		
3		356		
4		351		
5		360		

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Las pruebas para el análisis estadístico se describen a continuación

3.8.1. Análisis de varianza de un factor

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para demostrar las hipótesis de las pruebas de ascenso de punto ebulloscópico y viscosidad de la tinta. Para estas pruebas se utilizó un intervalo de confianza para la media de 95 % de confianza.

3.8.1.1. Ascenso del punto ebulloscópico

Se realizó el análisis estadístico ANOVA de un factor utilizando un α de 0,05 para determinar si la adición de masa de pigmentos aluminicos a un solvente afecto de manera significativa su temperatura de ebullición.

Tabla IX. Análisis de varianza de un factor para temperatura de ebullición de la acetona

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Masa de pigmentos	2,96666667	5	0,593333333	2,373333333	0,06947734	2,62065415
Dentro del grupo	6	24	0,25			
Total	8,96666667	29				

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Análisis de varianza de un factor para temperatura de ebullición del isopropanol**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Masa de pigmentos	1,36666667	5	0,27333333	1,09333333	0,3895738	2,62065415
Dentro del grupo	6	24	0,25			
Total	7,36666667	29				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis de varianza de un factor para temperatura de ebullición del etanol**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Masa de pigmentos	0,96666667	5	0,19333333	0,725	0,61136179	2,62065415
Dentro del grupo	6,4	24	0,26666667			
Total	7,36666667	29				

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a las tablas IX, X y XI se rechaza la hipótesis alterna, siendo para todos los solventes estudiados la F calculada menor a F crítica para las variaciones provocadas por la masa añadida de los pigmentos aluminados. Con estos resultados se concluye que la masa de pigmentos aluminados que sea

añadida para la creación de las tintas de borrado en seco no afectará de manera significativa la temperatura de ebullición de los solventes: acetona, isopropanol y etanol, por lo que se puede asegurar que los solventes contenidos en la tinta formulada se evaporarán al contacto con la pizarra de acrílico.

3.8.1.2. Viscosidad de la tinta

Se realizó el análisis estadístico ANOVA de un factor utilizando un α de 0,05 para determinar si el porcentaje en peso del jabón en los solventes: acetona, isopropanol y etanol afecta de manera significativa su viscosidad.

Tabla XII. **Análisis de varianza de un factor para la viscosidad de la mezcla acetona-jabón**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Masa de pigmentos	437 313,36	4	109 328,34	867,272251	4,1909E-22	2,8660814
Dentro del grupo	2 521,2	20	126,06			
Total	439 834,56	24				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Análisis de varianza de un factor para la viscosidad de la mezcla isopropanol-jabón**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Masa de pigmentos	532 660,4	4	133 165,1	1 902,9022	1,6769E-25	2,8660814
Dentro del grupo	1 399,6	20	69,98			
Total	534 060	24				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis de varianza de un factor para temperatura de la mezcla etanol-jabón**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Masa de pigmentos	482 045,44	4	120 511,36	1 958,2606	1,2598E-25	2,8660814
Dentro del grupo	1 230,8	20	61,54			
Total	483 276,24	24				

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a las tablas XII, XIII y XIV se rechaza la hipótesis nula, siendo para todos los solventes estudiados la F calculada mayor a F crítica para las variaciones provocadas por el porcentaje en peso del jabón en una mezcla jabón-solvente. Con estos resultados se concluye que el porcentaje en peso del jabón

contenido en las mezclas de tinta afectara significativamente la viscosidad de la tinta formulada.

4. RESULTADOS

4.1. Porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial

A continuación, se presentan los resultados de porcentaje en peso de pigmentos obtenidos por medio de la rotaevaporación de tres marcas comerciales de tinta para marcador de pizarrón de borrado en seco, cada una en los colores negro y rojo.

Tabla XV. **Porcentaje en peso de pigmentos en tinta comercial de marcador de pizarrón**

Tinta Comercial	Color	% p/p
Marca 1	Negro	21,43
	Rojo	19,93
Marca 2	Negro	34,62
	Rojo	33,16
Marca 3	Negro	33,98
	Rojo	30,28

Fuente: elaboración propia.

4.2. Porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial

A continuación, se presenta los resultados de porcentaje en peso para los solventes seleccionados, obtenido por medio de rotaevaporación de una muestra de tinta roja comercial de borrado en seco.

Tabla XVI. **Porcentaje en peso de solventes analizados en la tinta comercial por medio de rotaevaporación**

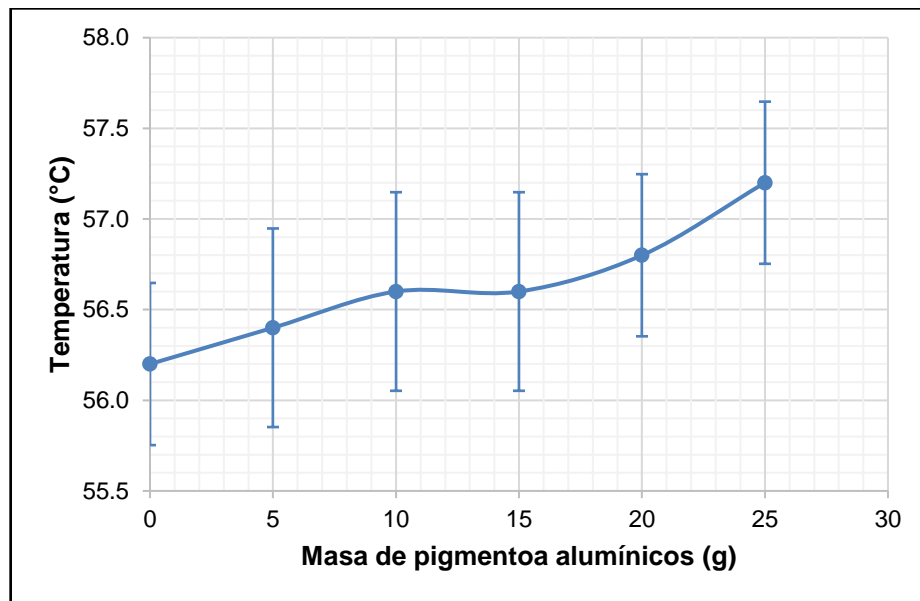
Solventes	% p/p
Acetona	0
Metanol	0
Acetato de etilo	6,52
Etanol	84,78
Alcohol Isopropílico	8,70
Alcohol propílico	0
Agua	0
Tolueno	0
Xilol	0

Fuente: elaboración propia.

4.3. Ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados

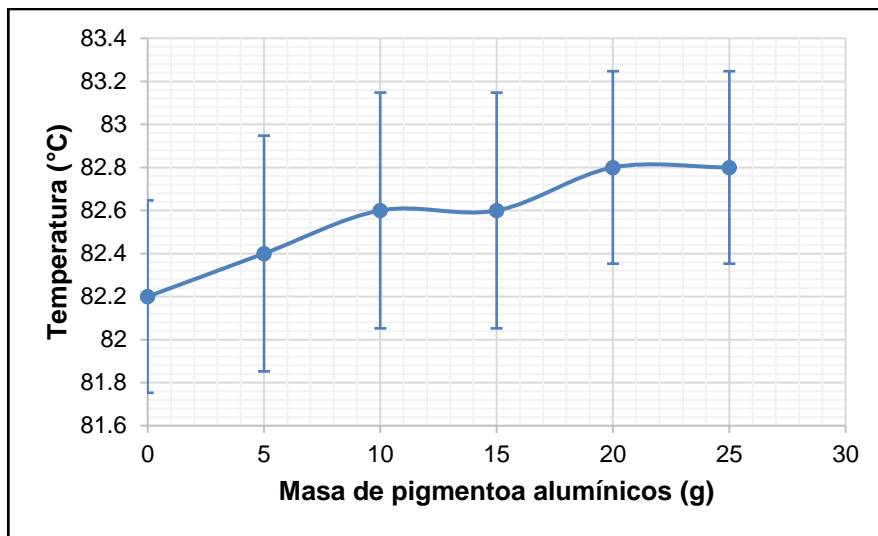
A continuación, se presenta un conjunto de graficas que caracterizan el comportamiento de la temperatura de ebullición de los solventes: acetona, isopropanol y etanol, al añadir masa de pigmentos aluminados en rangos de 5 g.

Figura 3. **Ascenso de la temperatura de ebullición para la solvente acetona**



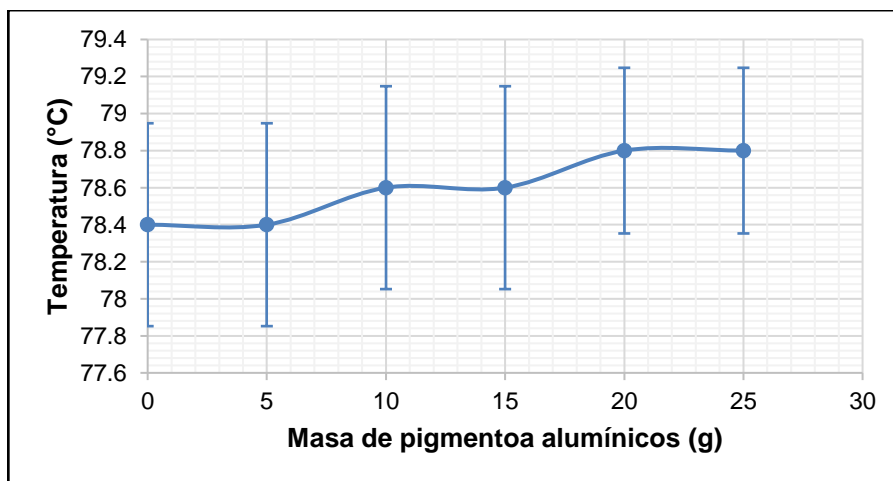
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Ascenso de la temperatura de ebullición para el solvente isopropanol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Ascenso de la temperatura de ebullición para el solvente etanol**

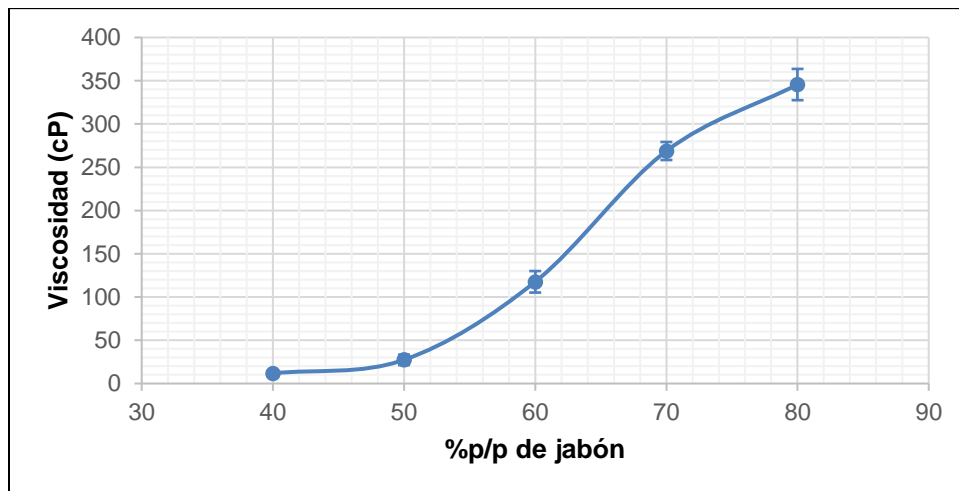


Fuente: elaboración propia.

4.4. Viscosidad de la tinta

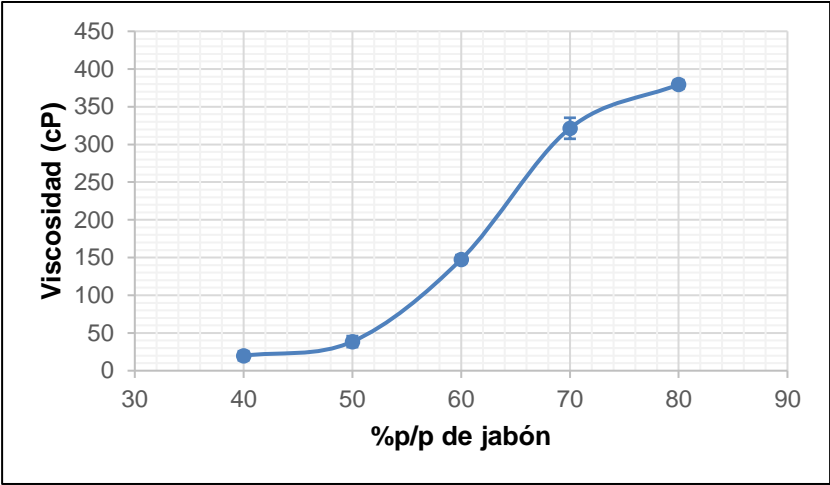
A continuación, se presenta un conjunto de graficas que caracterizan el comportamiento de la viscosidad de la tinta al variar el porcentaje en peso contenido de jabón en los solventes: acetona, isopropanol y etanol.

Figura 6. **Viscosidad de la mezcla en función del porcentaje en peso del jabón en acetona**



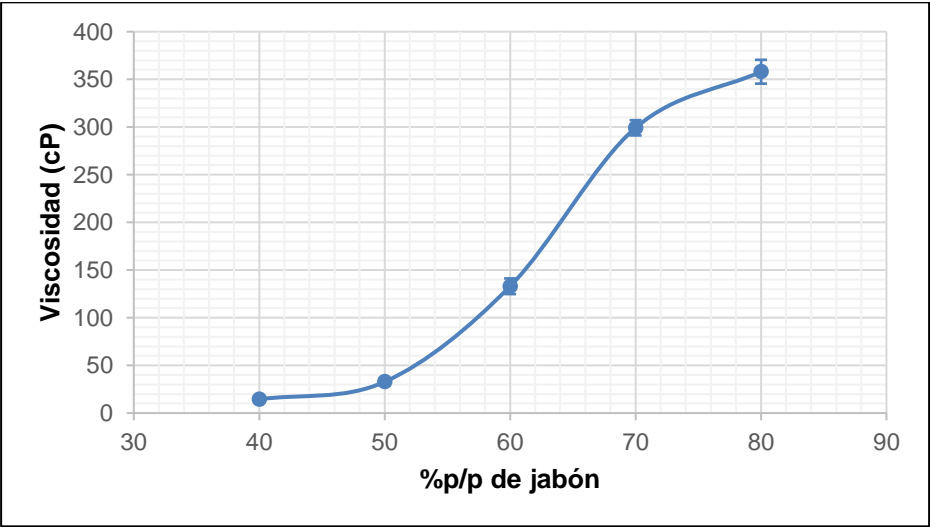
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Viscosidad de la mezcla en función del porcentaje en peso del jabón en isopropanol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Viscosidad de la mezcla en función del porcentaje en peso del jabón en etanol**

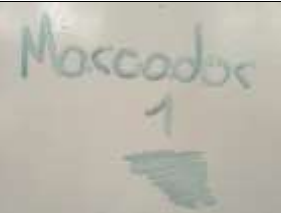
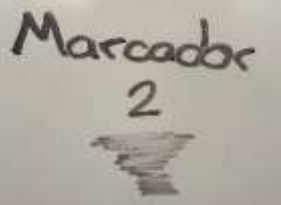
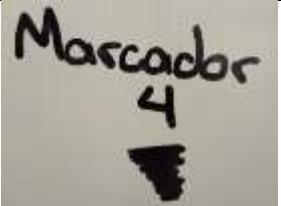


Fuente: elaboración propia.

4.5. Formulación de las tintas para marcador de pizarrón de borrado en seco

A continuación, se presenta una tabla que enlista los ingredientes y cantidades utilizados en la formulación final de las 4 mezclas de tintas que presentaron los mejores resultados contenidas en los marcadores numerados.

Tabla XVII. Formulación de la tinta para marcador de pizarrón de borrado en seco a nivel laboratorio

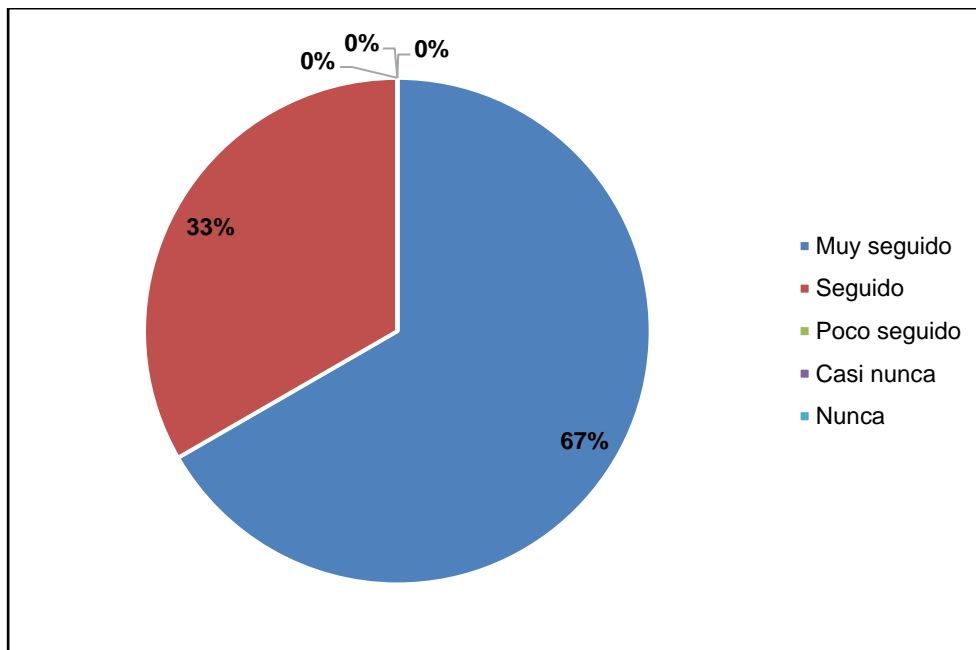
Mezcla de tinta	Solvente utilizado	% p/p de jabón	% p/p pigmento	Demostración de la mezcla de tinta en los marcadores
1	Acetona	60	25	
2	Isopropanol	60	25	
3	Etanol	60	25	
4	Isopropanol	60	30	

Fuente: elaboración propia.

4.6. Comparación de las tintas formuladas a nivel laboratorio

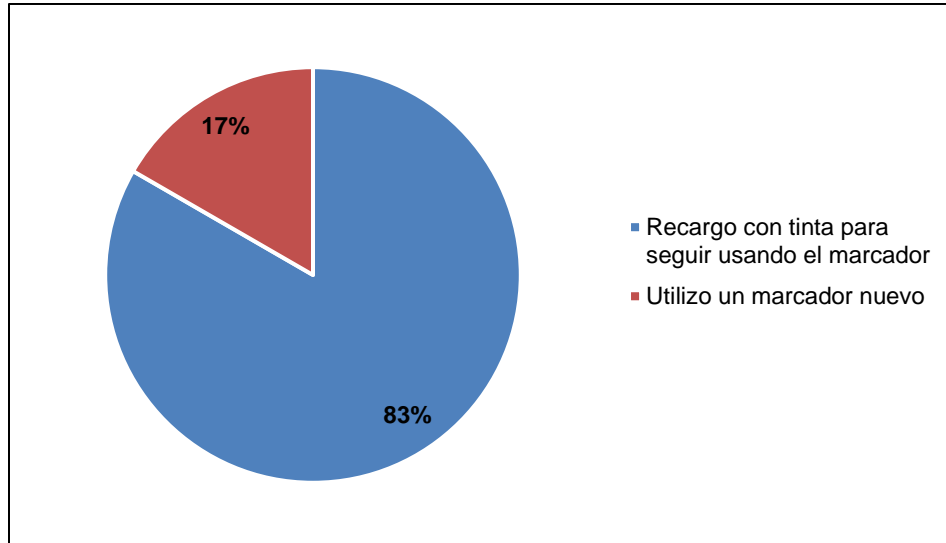
A continuación, se presenta gráficamente los resultados de las encuestas realizadas a los catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica FIUSAC, que comparan las cuatro mezclas formuladas de tinta para marcador de pizarrón.

Figura 9. **Uso de marcadores de pizarrón no permanentes en las actividades cotidianas de docencia**



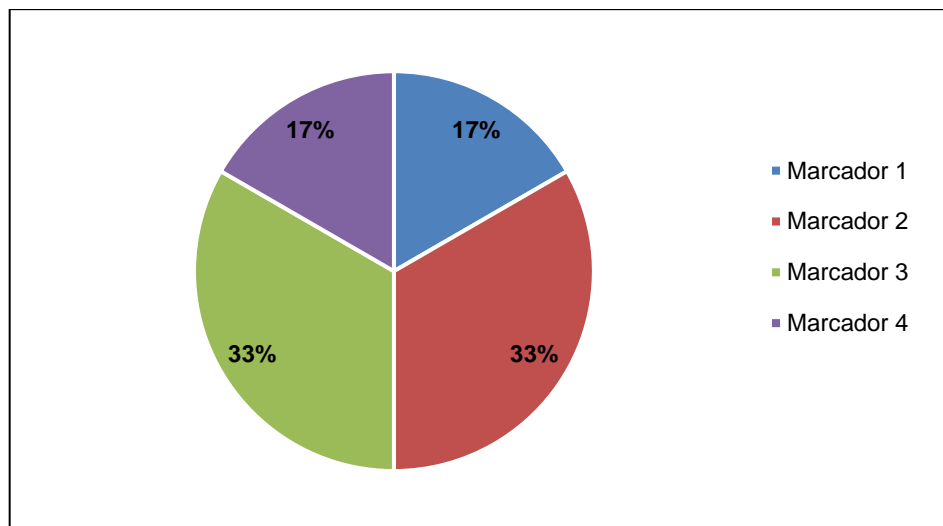
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Acción que se realiza cuando se termina la tinta contenida en un marcador**



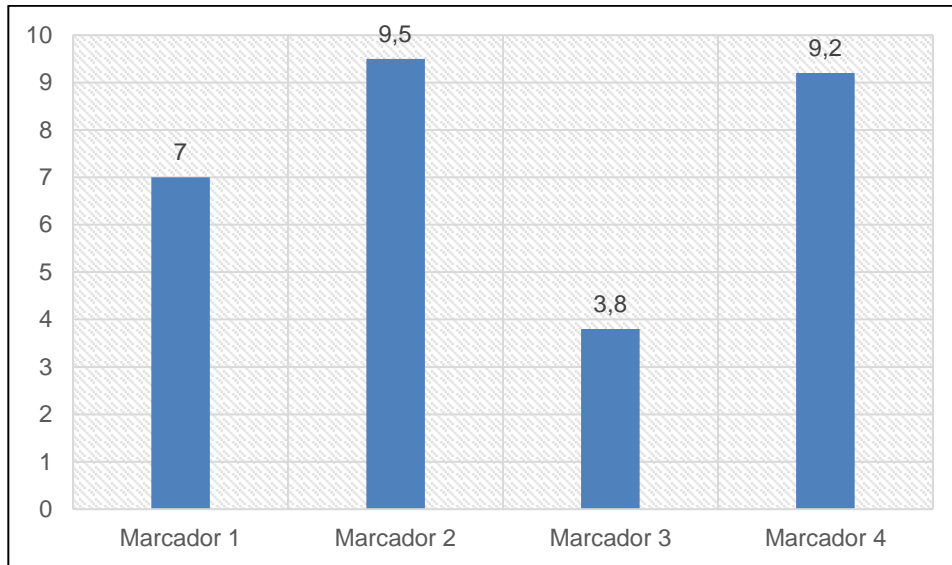
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Marcador que contiene la tinta con mejor olor**



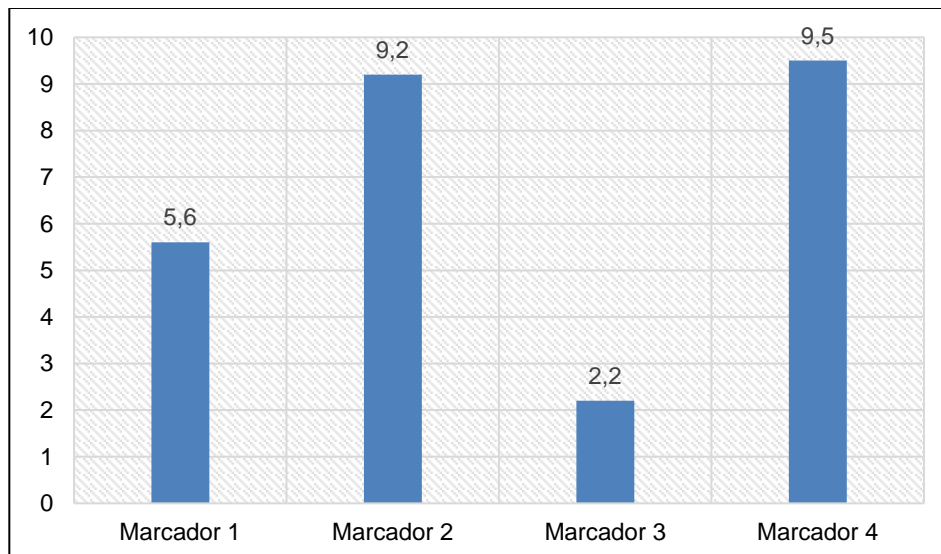
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Fluidez de la tinta**



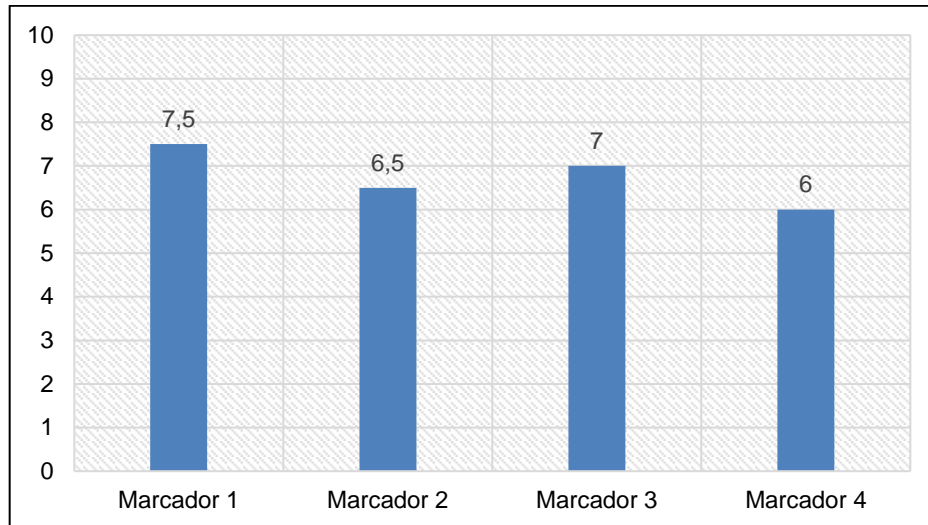
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Saturación de color de la tinta**



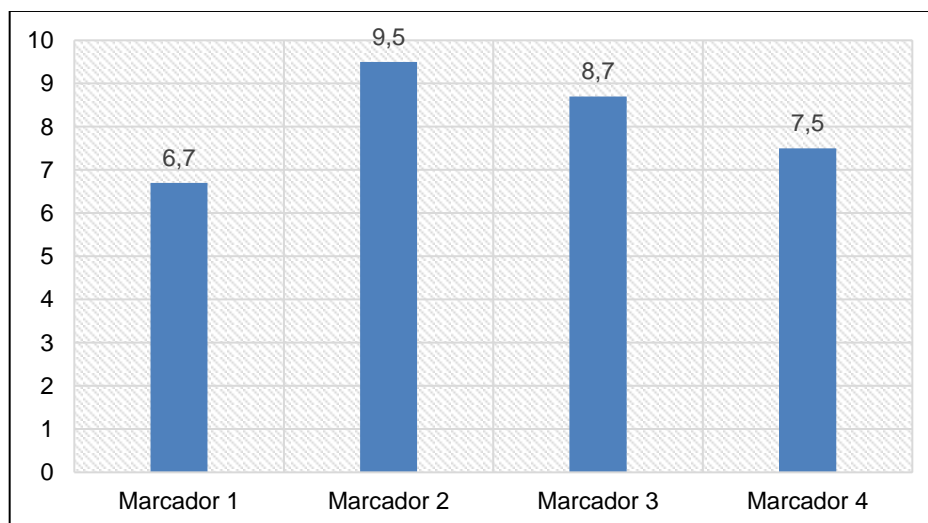
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Facilidad de remoción de pigmentos de la piel**



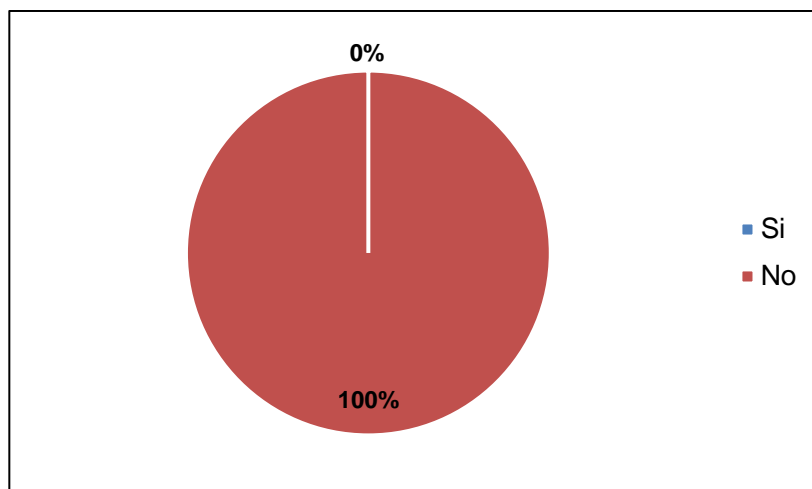
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Facilidad de borrado de la tinta en el pizarrón**



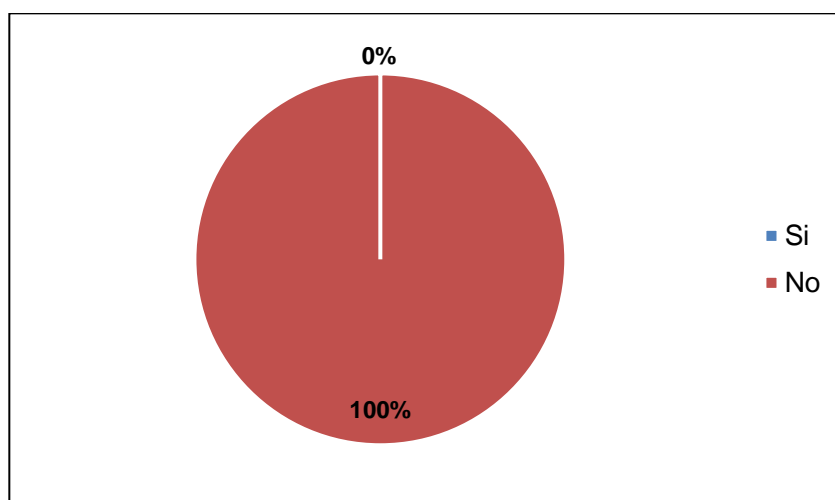
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Alergia o incomodidad producida por el contacto de la tinta sobre la piel**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Disposición uso en docencia de las tintas formuladas para rellenar los marcadores de pizarrón**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Porcentaje en peso de pigmentos contenidos en tinta comercial

En la tabla XV se presentan los porcentajes en peso de pigmentos contenidos en seis muestras de tinta comercial para marcador de pizarrón. Fueron analizadas tres marcas en los colores negro y rojo, de las cuales todas mostraron un porcentaje en peso menor para el color rojo en comparación con el negro. Dicha tabla muestra el menor porcentaje en peso de pigmentos en la marca 1 color rojo con 19,93 % p/p y el mayor porcentaje en la marca 2 color negro en 34,62 % p/p. Tomando como referencia los datos obtenidos anteriormente, se fijó un rango de trabajo entre 20 a 35 % p/p para el proceso de formulación de la tinta para marcador de pizarrón de borrado en seco a nivel laboratorio utilizando pigmentos aluminicos negros.

5.2. Porcentaje en peso de solventes contenidos en tinta comercial

En la tabla XVI se realizó la separación de los solventes de una muestra de tinta comercial para obtener una referencia de los solventes comúnmente utilizados para la creación de dicha tinta. La rotaevaporación se realizó por medio de la búsqueda individual de un listado de posibles solventes, los cuales fueron separados iniciando por los que poseían una menor temperatura de ebullición. Para la muestra de tinta analizada se identificaron acetato de etilo, etanol y alcohol isopropílico como posibles solventes contenidos, siendo el etanol el solvente con mayor presencia en la tinta comercial estudiada.

Para la selección de los solventes que conformarían parte del proceso de formulación de la tinta, se seleccionaron como principales etanol e isopropanol, esto debido tanto a los resultados anteriormente descritos, como a sus características de temperatura de ebullición, afinidad a los pigmentos y ser solventes de baja toxicidad. Además, se seleccionó a la acetona como tercer solvente debido a que posee una temperatura de ebullición mucho menor a los alcoholes anteriormente descritos, además de ser un solvente empleado para distintos tipos de pinturas, incluyendo el uso cosmético en la remoción de pintura de uñas.

5.3. Ascenso del punto ebulloscópico de los solventes seleccionados

En las figuras 3, 4 y 5 se realizó un estudio del ascenso del punto ebulloscópico para determinar si la adición de pigmentos aluminados afectaba en gran medida la temperatura de ebullición de los solventes. Para cada una de las pruebas realizadas con acetona, isopropanol y etanol adicionando 5 g de pigmentos para cada toma de datos hasta llegar a 25 g, se pudo observar que las gráficas demostraban un ascenso no mayor a un grado centígrado de temperatura, además en las tablas IX, X y XI se demostró por medio de la prueba estadística ANOVA de un factor que la adición de pigmentos aluminados no afecta de manera significativa la temperatura de ebullición de las muestras, por lo que se procedió a descartar la hipótesis alterna.

5.4. Viscosidad de la tinta

En las figuras 6, 7 y 8 se realizaron mediciones de la viscosidad de la tinta variando el porcentaje en peso del jabón líquido contenido en las mezclas jabón-solvente, realizando de igual manera el análisis estadístico ANOVA de un factor, que estipula en las tablas XII, XIII y XIV que la adición de jabón a los tres

solventes seleccionados afecta de manera significativa su viscosidad. Además de las mediciones tomadas, se delimito un rango de viscosidades para trabajar el proceso de formulación, donde la tinta tuviera una consistencia óptima que permitiera una fluidez uniforme sin derramamiento. Las viscosidades obtenidas se manejaron en rangos similares para las tres mezclas de solventes, siendo la que mantuvo una mayor viscosidad la mezcla isopropanol-jabón caracterizada en la figura 7. De acuerdo a las observaciones realizadas se fijó trabajar en un rango de viscosidades que se manejen de 100 a 300 cP para la formulación de las tintas. El jabón líquido utilizado en este análisis aumento la viscosidad de la tinta, además de permitir una fluidez constante sin afectar en gran medida la consistencia de la tinta.

5.5. Formulación de las tintas para marcador de pizarrón de borrado en seco

De acuerdo a los parámetros de trabajo fijados anteriormente, se dio inicio al proceso de formulación de las tintas de borrado en seco a nivel laboratorio. El proceso de creación de las tintas se realizó por medio de mezclas de prueba y error, manteniendo las condiciones anteriormente citadas: % p/p de pigmentos alumínicos entre 20 a 35 %; acetona, isopropanol y etanol como solventes, además de un rango de viscosidad comprendido entre 100 a 300 cP. El proceso de fabricación de las tintas dio inicio al formar una pasta base compuesta por pigmentos alumínicos en polvo y jabón, dicha pasta se obtuvo por medio del mezclado de los ingredientes a una temperatura aproximada de 70 °C con agitación constante por un tiempo aproximado de 4 horas. Dicha pasta debía de mantener una consistencia viscosa además de no percibir rastros del pigmento en polvo al contacto con la piel.

Seguidamente en el proceso de formulación las pastas creadas eran mezcladas con los solventes, nuevamente con agitación constante en un sistema que permitiera cubrir la muestra de manera que el solvente no se evaporara durante el proceso de mezclado. Cabe mencionar que durante el proceso de formulación se realizaron pruebas en donde los pigmentos en polvo eran inicialmente mezclados solo con el solvente, así como pruebas donde los ingredientes jabón-solvente-pigmentos se mezclaban al mismo tiempo. Estas pruebas dieron como resultado una tinta que poseía una buena saturación de color, pero al contacto con la pizarra, la tinta se secaba dando un acabado en polvo, lo que hacía más difícil su remoción, además de que ciertas trazas de polvo que se llegaban a secar en la punta del marcador hacían que este se tapara impidiendo que la tinta siguiera fluyendo. Al cambiar el proceso formando inicialmente una pasta con el jabón y los pigmentos, permitía realizar un mezclado inicial con una alta temperatura, debido a que no se tendría que considerar el punto de ebullición del solvente. Una vez añadido el solvente a la pasta creada se dejaba la tinta mezclando otras 2 horas para obtener un acabado uniforme.

Se crearon diversas muestras de tintas variando los porcentajes en peso de trabajo de 20 a 35 % p/p, siendo de los problemas más comunes una poca saturación de color que pudo ser provocada por un bajo contenido de pigmentos alumínicos o bien, provocada por una mala dilución en el proceso de mezclado. Otro de los principales problemas presentados en el proceso de formulación era la obtención de una tinta que poseía una buena saturación de color al ser aplicada sobre la superficie de la pizarra, pero cuyos pigmentos tapaban los poros de la punta de los marcadores lo que impedía que la tinta fluyera cómodamente. Si bien cambiar el orden de mezclado de los ingredientes reducía en gran medida el problema anterior, aun se mostraban pequeñas partículas sin disolver en la mezcla, y presentaba un gran problema debido a que la mínima presencia de

estas, tapaba fácilmente la punta del marcador. Para solucionar finalmente el problema se procedió a realizar un proceso de filtrado de las tintas fabricadas para procurar que el producto final se encontrara libre de pigmentos sin disolver.

La tabla XVII contiene las mezclas realizadas que presentaron los mejores resultados en cuanto a saturación de color, fluidez de la tinta y facilidad de remoción de pigmentos. En esta tabla se establece que el porcentaje de pigmentos mayormente utilizado fue de 25 %, a excepción de la mezcla 4, además del uso de un porcentaje en peso del jabón en un 60 % para las cuatro mezclas finales que presentaron los mejores resultados.

5.6. Comparación de las tintas formuladas a nivel laboratorio

Continuamente se procedió a realizar una encuesta a los catedráticos y auxiliares del área de fisicoquímica para calificar la calidad de las cuatro mezclas realizadas. En la figura 9 se demuestra la importancia del uso de los marcadores de pizarrón en las actividades de docencia, donde el 67 % de los entrevistados afirman usarlos muy seguido. Seguidamente en la figura 10 se observa que el 83 % de los entrevistados recarga tinta en los marcadores de pizarrón, lo que se implica una gran demanda de esta.

En la figura 11 se muestran los resultados de la tinta que posee mejor olor, sin embargo, las respuestas se encontraron divididas entre las cuatro muestras. Los resultados divididos para esta pregunta se debieron a que las cuatro mezclas poseen un gran porcentaje en peso de jabón de tocador, además de que los solventes diluidos poseen un olor relativamente similar. En la figura 12 se muestran los resultados de las mezclas al calificar la fluidez de la tinta, siendo el marcador 2 el que obtuvo una mejor calificación promedio de 9,2 seguido por el

marcador 4, cabe resaltar que el marcador 3 obtuvo una baja calificación de 3,8, todas estas calificadas en una escala de 1 a 10.

En la figura 13 se muestran los resultados de la calificación de la saturación de la tinta, donde el marcador 4 obtuvo la mayor calificación de 9,5, seguido del marcador 2. Para este parámetro el marcador 3 obtuvo nuevamente la calificación más baja con un 2,2. Posteriormente en la figura 14 se muestran los resultados de la calificaciones en base a la facilidad de remoción de los pigmentos de la piel, donde se observa que el marcador 1 obtuvo una mayor calificación de 7,5 seguido por el marcador 3, en este caso los marcadores obtuvieron calificaciones más cercanas entre sí, no obstante para este parámetro no se obtuvieron calificaciones cercanas a 10 como en los casos anteriores, esto debido a la textura de la piel cuyos poros impiden una fácil remoción de los pigmentos a diferencia de una superficie lisa, sin embargo la remoción de estos pigmentos resulto más sencilla en comparación de tintas permanentes.

En la figura 15 se calificó la facilidad de borrado de la tinta al ser aplicada en el pizarrón de acrílico, siendo la mayor calificación obtenida en el marcador 2 con 9,5 seguida por el marcador 3 con 7,8.

Continuamente se realizó la interrogante a los entrevistados sobre la sensación de la tinta sobre la piel, y como se observa en la figura 16, el 100 % de los entrevistados respondió que no sentía ningún tipo de alergia o incomodidad. Este resultado se debe al origen de los ingredientes utilizados para la formulación de la tinta debido a que los pigmentos aluminicos también pueden ser utilizados en la industria alimenticia, principalmente en la tinción de pastas y chicles; de igual manera el jabón utilizado para el proceso es formulado para su uso sobre la piel y finalmente, los solventes manejados poseen una baja toxicidad, se encuentran en porcentaje en peso menor a los dos ingredientes

anteriores y son empleados en la industria cosmética, por lo que se puede clasificar la tinta formulada como segura en caso de un derramamiento imprevisto sobre la piel.

Finalmente se presenta la interrogante a los cinco entrevistados del área de fisicoquímica si consideraría utilizar alguna de estas tintas formuladas para las actividades de docencia, donde el 100 % de los entrevistados dio una respuesta positiva como se observa en la figura 17.

Conforme a los resultados de la encuesta anteriormente descritos, se puede decir que el marcador 2 compuesto por 60 % p/p de jabón líquido, 25 % p/p de pigmentos e isopropanol como solvente, obtuvo los mejores resultados de acuerdo a las personas entrevistadas, siendo esta la formulación óptima de tinta para marcador de pizarrón de borrado en seco realizada a nivel laboratorio.

CONCLUSIONES

1. El rango obtenido de porcentaje en peso de pigmentos de las muestras de tinta comercial de marcador de pizarrón por medio de rotaevaporación fue de 19,93 % a 34,62 %.
2. Los solventes orgánicos compuestos principalmente por alcoholes demostraron una mayor presencia durante la rotaevaporación de la muestra de tinta comercial para marcador de pizarrón, poseyendo las mejores propiedades para el proceso de formulación de la tinta.
3. La caracterización gráfica de la adición de pigmentos aluminicos a los solventes: acetona, isopropanol y etanol no demostró un aumento significativo en la temperatura de ebullición a la presión atmosférica de Guatemala.
4. El rango de viscosidades seleccionado para el proceso de formulación de la tinta de borrado en seco donde no se produce derramamiento de la tinta sobre la pizarra es de 100 a 300 cP, para todas las mezclas de jabón-solvente.
5. La mezcla de tinta de borrado en seco formulada contenida en el marcador 2 obtuvo las mejores calificaciones basadas en los criterios de aceptación y funcionalidad de acuerdo a los catedráticos y auxiliares de área de fisicoquímica que fueron entrevistados, seguidas por las mezclas contenidas en el marcador 4, 1 y 3 respectivamente.

6. La mezcla óptima para la realización de la tinta para marcador de pizarrón formulada a nivel laboratorio se encuentra conformada por un porcentaje en peso de pigmentos aluminicos de 25 %, un porcentaje en peso de jabón de 60 %, utilizando isopropanol como solvente base.

RECOMENDACIONES

1. Mezclar inicialmente los pigmentos aluminicos y el jabón a una temperatura de 70 °C para reducir al mínimo la presencia de pigmentos no disueltos.
2. Tapar adecuadamente con Parafilm la muestra de tinta formulada durante el proceso de mezclado de los solventes para evitar su evaporación prematura.
3. Realizar el filtrado de la tinta final formulada para evitar que los pigmentos no disueltos que puedan estar presentes tapen la punta del marcador.
4. Utilizar el equipo de protección personal durante el proceso de formulación para evitar daños ocasionados por los gases de los solventes o la tinción de la piel producida por los pigmentos.

BIBLIOGRAFÍA

1. CÁRDENAS-BUSTAMANTE, Omayda. *Exposición a solventes orgánicos y efectos genotóxicos en trabajadores de fábricas de pinturas en Bogotá*. Vol. 9. Bogotá: Revista de salud pública, 2007. 288 p.
2. CASA, Antoni Palet. *Materiales pictóricos: pigmentos. Identificación química de pigmentos artísticos*. 1a ed. Barcelona: Ediciones de la Universidad de Barcelona, 1997. 14 p.
3. CLARUS. *Whats in a dry erase marker*. [en línea]. <<https://www.clarus.com/whats-in-a-dry-erase-marker/>>. [Consulta: 29 de marzo de 2018].
4. DEL PILAR RUBIANO, María., MARCIALES, Clara. y DUARTE, Martha. *Evaluación del riesgo ocupacional por exposición a benceno, tolueno y xilenos en una industria de pinturas en Bogotá, DC*. Vol.31, No. 1. Bogotá: Revista colombiana de química, 2002. 43 p.
5. KROUSTALLIS, Stefanos. *La escritura y sus materiales: pigmentos, tintas e instrumentos*. Patronato Santa María la Real de Nájera, 2008. 260 p.
6. KWAN, Vincent. Patente No. WO2004072194A1. Francia, 2003. 6 p.

7. LEVINE, Ira N. Equilibrio de fases en sistemas de un componente y superficies. *Principios de fisicoquímica*. New York: McGraw-Hill, 2014. 594 p.
8. MALISHENKO, Yuri. *All you need to know about whiteboard markers*. [en línea]. <<https://medium.com/graphicfacilitation/all-you-need-to-know-about-whiteboard-markers-2a25d1249911>>. [Consulta: 27 de marzo de 2018].
9. MELLO, Vinicius M. y SUAREZ, Paulo A. *As formulações de tintas expressivas a través da historia*. Vol. 4, No.1. Revista virtual de química, 2012. 12 p.
10. MORALES, Belén María Paricaguán. *Desarrollo de una pintura amigable al ambiente bajo la metodología taguchi*. Revista Ingeniería UC, 2010. 58 p.
11. PASQUESI, Andy. *¿Qué contienen un rotulador permanente?* [en línea]. <<https://www.geniolandia.com/13086695/que-contiene-un-rotulador-permanente>>. [Consulta: 21 de mayo de 2018].
12. REGLA, Ignacio. y VÁSQUEZ, Edna. *La química del jabón y algunas aplicaciones*. [en línea]. <<http://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38/>>. [Consulta: 25 de mayo de 2018].

13. Revista El Papel. *Marcadores de pizarra, una demanda en ascenso*. [en línea]. <<http://elpapeldigital.com/es/2007/01/marcadores-de-pizarra-una-demanda-en-ascenso/>>. [Consulta: 27 de mayo de 2018].
14. RIVAS, Juan. *Desarrollo de formulación de la tinta para el relleno de plumones para pizarrón y desarrollo el proceso de producción automatizado para el relleno de los mismos*. De Cuerpos Académicos, 2013. 310 p.
15. RUIZ, Jose. *Lacas aluminicas hidrosolubles*. [en línea]. <<http://info.farbe.com.mx/blog/lacas-aluminicas-hidrosolubles>>. [Consulta: 17 de abril de 2018].
16. SMITH, Joe Mauck y VAN NESS, Henry. *Equilibrio vapor/líquido: Introducción a la termodinámica en la Ingeniería Química*. México: McGraw-Hill, 2005. 840 p.
17. ULOA, Iris. *Breve historia de la tinta*. [en línea]. <<http://tiposconhistoria.blogspot.com/2011/11/breve-historia-de-la-tinta.html>>. [Consulta: 17 de marzo de 2018].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Pigmentos separados de la tinta comercial por rotaevaporación**



Fuente: elaboración propia, con datos de LIEXVE, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 2. **Equipo de rotaevaporación para la separación de solventes de la tinta comercial**



Fuente: elaboración propia, con datos de LIEXVE, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 3. **Pigmentos alumínicos negros utilizados durante el proceso de formulación**



Fuente: elaboración propia, con datos de Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 4. Proceso de mezclado de jabón-pigmentos alumínicos



Fuente: elaboración propia, con datos de Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 5. Pasta formada en el proceso de mezclado jabón-pigmentos alumínicos



Fuente: elaboración propia, con datos de Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 6. **Muestra de tinta evaporada al ambiente realizada por medio del mezclado jabón-solvente-pigmento**



Fuente: elaboración propia, con datos de Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 7. **Muestra de tinta evaporada al ambiente realizada por medio del mezclado pasta jabón-pigmento con solvente**



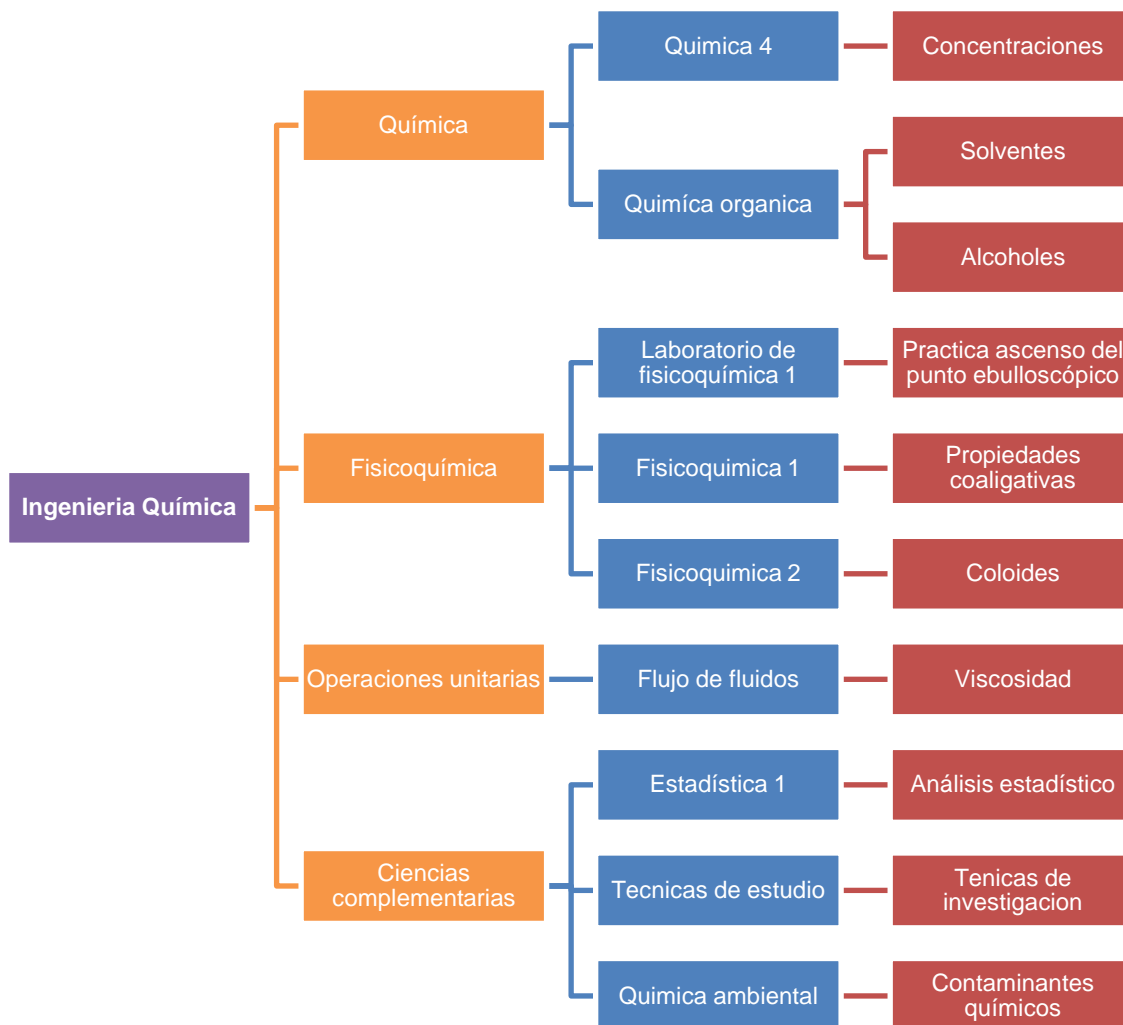
Fuente: elaboración propia, con datos de Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 8. **Muestras de tinta formuladas para la realización de la encuesta a los catedráticos**

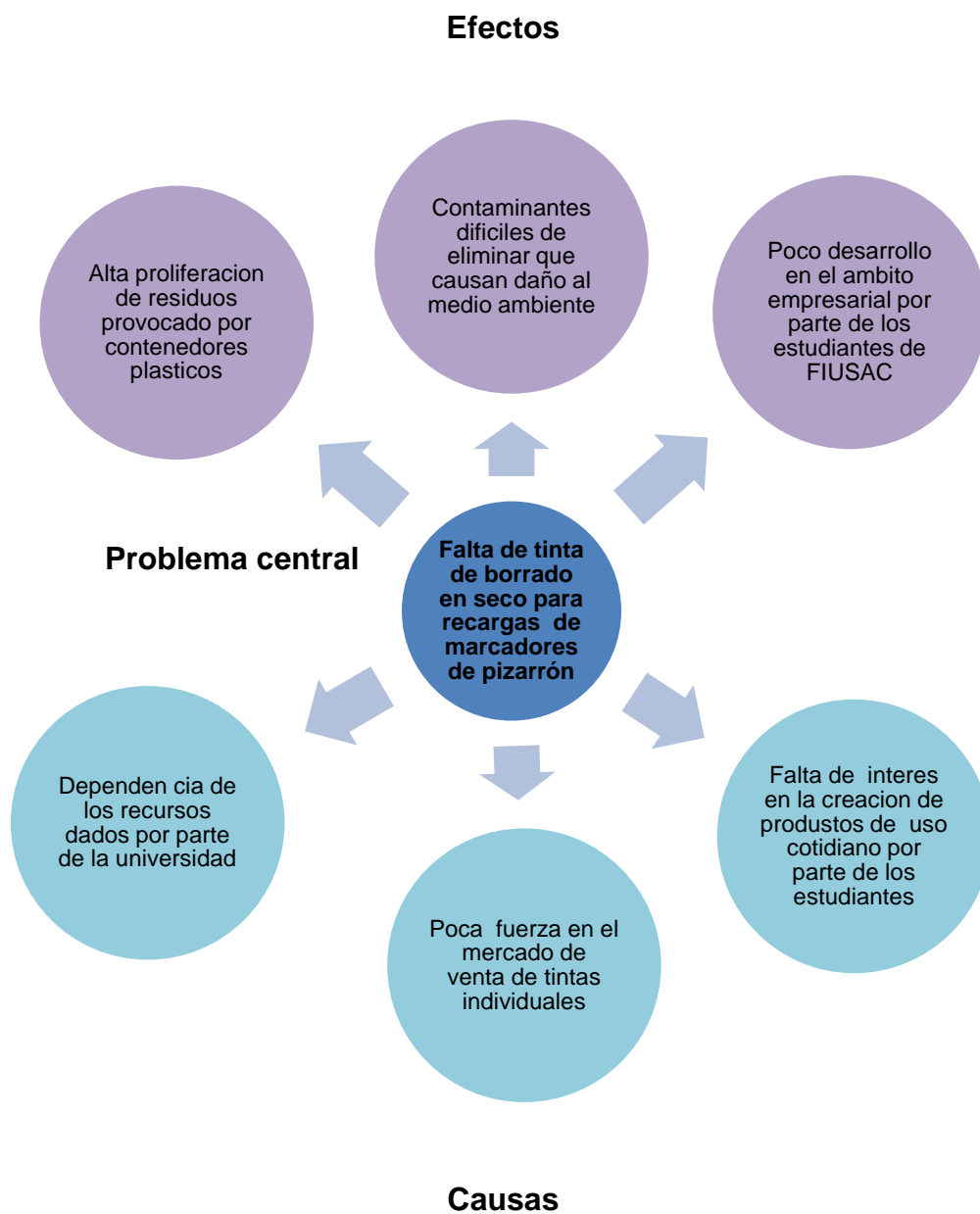


Fuente: elaboración propia, con datos de Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 9. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.