

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL
PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA
MEZCLA DE ACETATO DE ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO
DE LIMPIEZA DE EQUIPO, EN LA INDUSTRIA GRÁFICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN DE EPS
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

MARLENE SUSANA ARRECHEA ALVARADO

ASESORADO POR: ING. LUIS HUMBERTO OROZCO GIRÓN
 ING. CESAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Luis Pedro Ortíz de León |
| VOCAL V | Br. José Alfredo Ortíz Herincx |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía |
| EXAMINADOR | Ing. Lorena Victoria Pineda Cabrera |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Mario Estrada Asturias |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN
DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA
RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE
ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE
EQUIPO, EN LA INDUSTRIA GRÁFICA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 26 de enero de 2009.



Marlene Susana Arrechea Alvarado



Guatemala 23 de Octubre de 2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Ingeniero Álvarez:

Cordialmente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final de trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESOS DE LIMPIEZA DE EQUIPO EN LA INDUSTRIA GRÁFICA”**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química **Marlene Susana Arrechea Alvarado**, carné No. **2005-12229**.

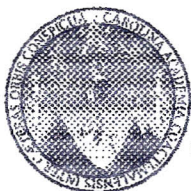
Por lo tanto, después de haber revisado el respectivo informe final de trabajo de graduación y de haber hecho las correcciones necesarias, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Humberto Orozco Girón', written over a horizontal line.

Ing. Luis Humberto Orozco Girón
Director General
SIEGWERK CENTROAMÉRICA, S.A.
ASESOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 23 de octubre de 2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final de trabajo de graduación titulado: **"EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE EQUIPO EN LA INDUSTRIA GRÁFICA"** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química **Marlene Susana Arrechea Alvarado**, cané No. **2005-12229**.

Por lo cual, después de haber realizado la revisión del respectivo informe final y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. César Alfonso García Guerra
COORDINADOR
Área de Química
Escuela de Ingeniería Química
ASESOR

C.c. Archivo
CAGG/am



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 18 de enero de 2010.
Ref.EPS.DOC.27.01.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

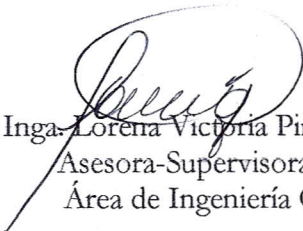
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Marlene Susana Arrechea Alvarado** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200512229**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO / ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE EQUIPO EN LA INDUSTRIA GRÁFICA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 18 de enero de 2010.
Ref.EPS.D.28.01.10.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

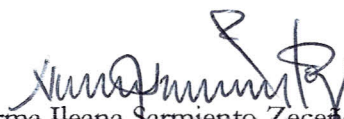
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO / ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE EQUIPO EN LA INDUSTRIA GRÁFICA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Marlene Susana Arrechea Alvarado**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





Guatemala, 03 de febrero de 2010
Ref. EIQ.046.2010

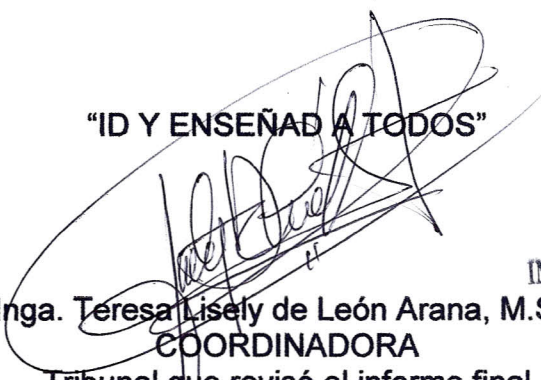
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta EPS-04-10-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **MARLENE SUSANA ARRECHEA ALVARADO** identificada con carné No. **2005-12229**, titulado "EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE EQUIPO EN LA INDUSTRIA GRÁFICA", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Luis Humberto Orozco Girón, asesorado-supervisado de EPS por la ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera y co-asesorado por el Ingeniero Químico Cesar Alfonso García Guerra, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Arrechea Alvarado** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación


ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



Ref. EI.Q.TG.030.2010

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el informe del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS final) de la estudiante **MARLENE SUSANA ARRECHEA ALVARADO** titulado: **“EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE EQUIPO, EN LA INDUSTRIA GRÁFICA”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; MIQ; MPISC

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril de 2010

Cc: Archivo
WGAM/am




Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.0104.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE TRES ADSORBENTES PARA LA REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES EN LA RECUPERACIÓN DE LA MEZCLA DE ACETATO DE ETILO/ALCOHOL ETÍLICO, EN EL PROCESO DE LIMPIEZA DE EQUIPO, EN LA INDUSTRIA GRÁFICA**, presentado por la estudiante universitaria **Marlene Susana Arrechea Alvarado**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Glenda Patricia García Soria
Decana en Funciones



Guatemala, abril de 2010

/cc

AGRADECIMIENTOS A

PADRE, HIJO Y ESPÍRITU SANTO. Por darme **sabiduría, inteligencia y perseverancia**, aún cuando parecía imposible. Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia. Proverbios 2.1-6.

INGENIERO LUIS HUMBERTO OROZCO GIRÓN. Por el apoyo incondicional y la oportunidad de realizar el proyecto, al abrir las puertas de su empresa y compartir sus **conocimientos** acerca de la Industria Gráfica.

INGENIERO CESAR GARCÍA. Por el aporte académico brindado, por su experiencia.

INGENIERA LORENA PINEDA. Por su **apoyo** como asesora-supervisora.

INGENIERA LISELY DE LEÓN E INGENIERO WILLIAMS ÁLVAREZ. Por su apoyo incondicional, excelencia académica y amistad. Por demostrar diariamente que la **calidad** no es un accidente, sino el resultado del **esfuerzo** de la **inteligencia**.

INGENIERO MURPHY PAIZ. Por los cambios que reflejan el **progreso** de la Facultad de Ingeniería.

INGENIERO ZENÓN MUCH. Por su autorización para utilizar el Laboratorio unificado de Química del agua y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Empresa Municipal de Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Por el **apoyo** y comprensión en todo momento.

INGENIERO JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS. Por la autorización a utilizar el Laboratorio de Aguas del Instituto de Fomento Municipal –INFOM-. Por su **excelencia profesional**. Gracias por cada consejo y aliento de ánimo.

INGENIERA TELMA CANO, INGENIERO MARIO MÉRIDA, INGENIERA ADELA MARROQUÍN, INGENIERA CINTHYA ORTÍZ. Por su autorización y **colaboración** para utilizar el Laboratorio de Extracciones Vegetales del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

RAMÓN ARRECHEA ALVARADO. Por ser mi **auxiliar** en el proyecto. Gracias.

COLABORADORES. Moisés Dubón, Ingeniero André Maldonado, Ingeniero Alejandro López, Fredy García, Jhonathan Ríos, Salvador, William, Abraham, Otto, por la **colaboración** en el proyecto y por su amistad.

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. Gracias a todos los profesores, por ese don de la **enseñanza** que hace posible la formación académica de muchos estudiantes.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Por la excelente formación académica, estoy orgullosa y alegre de ser **san carlista**.

ACTO QUE DEDICO A

PADRE, HIJO Y ESPÍRITU SANTO. Por la bendición de disfrutar este triunfo tan anhelado, por guiarme en todo momento y permitir que el sueño de hace muchos años hoy sea una realidad. Tu misericordia y bondad llenan mi vida de alegría. **Exaltado seas** sobre los cielos, oh Dios; Sobre toda la tierra sea tu gloria. Salmos. 57:5.

MARLENE ALVARADO RUÍZ. Por todo el apoyo brindado durante mi formación académica, por ser la base de este triunfo. Por ser mi **madre**, mi **amiga** y mí **mejor ejemplo**. Por amarme sin límite. Mujer virtuosa... muchas mujeres hicieron el bien; mas tú sobrepasas a todas. Proverbios.31:10.

RAMÓN ARRECHEA HURTARTE. Por darme **amor**. Por esa personalidad que me enseñó a **sonreír** en todo momento, por ese don de servicio hacia la comunidad y por ser un luchador que ganó la vida eterna, por ser la base de este triunfo (D.E.P).

RAMÓN ARRECHEA ALVARADO. Por la **sinceridad**, cariño y **amistad** de todos estos años, por cada aventura, pelea, travesura, tristeza y alegría. Me siento muy orgullosa de tu desarrollo académico y deportivo.

MIGUEL ALONZO. Por este **amor** que involucra confianza, respeto, ternura y admiración. Por ser el mejor regalo de Dios a mi vida, mi **ayuda idónea**. Las muchas aguas no podrán apagar el amor, ni lo ahogaran los ríos. Cantar de los Cantares. 8:7.

ABUELOS. Por el impacto a mi vida con su amor y paciencia. Mario Alvarado, Hortencia Ruíz y Blanca Hurtarte. Gracias por sus frases, consejos e historias. Por ser personas de bien, **virtuosos**, reflejados en el éxito de cada uno de sus hijos y nietos.

TÍOS. Erick por tu **cariño**, interés en mi desarrollo académico y ayuda con tu experiencia. Mario por tu cariño y **ayuda** en mi desarrollo, con tus conocimientos como Ingeniero Químico y como excelente líder cristiano. Mayra (D.E.P) por su ejemplo de mujer temerosa de Dios y profesional de éxito. Tavo, Oscar, David, Lucky, Chayito, Betty, Mónica y July, por su cariño y **apoyo**.

PRIMOS. José, Marito, Quíque, Tavito, Anita, Pame, Blanqui, Betzy, Rodri, Melani, Cami, Andre, Judith por la **armonía, unidad** y amor que hay entre nosotros, por haberme apoyado cuando lo necesité.

AMIGOS. Cindy Gonzales, Alberto Fajardo, Pamela Mejía, Veralucia Barrientos, Erick Pinzón, Leslie Ramos, Megli Palma, Claudia Arevalo, Marilú Arevalo, Hamilton Chicohay, Josue López, Claudia Contreras, Gabriela Maldonado, Leslie Rossi, Evelyn Figueroa, Humberto Mazariegos, José Gómez, Víctor Aceituno, Ale Morales, familia Palacios y familia Guerra. En todo tiempo ama el amigo, y **es como un hermano en tiempo de angustia**. Proverbios. 17:17.

CARLOS RENÉ SIERRA ROMERO. Por el apoyo incondicional brindado, por su **visión inteligente** y llena de amor hacia la Universidad de San Carlos de Guatemala, es un ejemplo a seguir, gracias por sus **consejos de vida**.

INGENIEROS QUÍMICOS CARNÉ 2005. A todos mis compañeros de primer año, por todo ese cariño, aunque hayamos tomado caminos diferentes, vamos todos hacia la misma meta, convertirnos en **excelentes Ingenieros Químicos**.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VII |
| GLOSARIO | XVII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XXIII |
| HIPÓTESIS | XXV |
| RESUMEN | XXVII |
| OBJETIVOS | XXIX |
| INTRODUCCIÓN | XXXI |

1. MARCO TEÓRICO

| | |
|---|-----|
| 1.1 Tinta de impresión. | 001 |
| 1.1.1 Formadores de película de tinta. | 001 |
| 1.1.2 Plastificantes de tinta. | 002 |
| 1.1.3 Disolventes de tinta. | 002 |
| 1.1.4 Pigmentos. | 003 |
| 1.2 Disolvente. | 003 |
| 1.2.1 Clasificación de los disolventes. | 004 |
| 1.3 Solubilidad. | 005 |
| 1.4 Sorción. | 005 |
| 1.4.1 Adsorción. | 006 |
| 1.4.1.1 Tipos de adsorción: | 006 |
| 1.4.1.2 Naturaleza de los adsorbentes. | 007 |
| 1.4.1.3 Carbón activado. | 008 |
| 1.4.1.4 Proceso de activación. | 009 |
| 1.4.1.4.1 Proceso físico. | 009 |

| | |
|---|------------|
| 1.4.1.4.2 Proceso químico. | 010 |
| 1.4.1.5 Clasificación. | 010 |
| 1.5 Índice de refracción. | 012 |
| 1.6 Espectro electromagnético. | 012 |
| 1.7 Espectro visible. | 013 |
| 1.8 Color. | 014 |
| 1.8.1 Teoría del color. | 015 |
| 1.8.1.1 Sistemas aditivos. | 015 |
| 1.8.1.2 Sistemas sustractivos. | 016 |
| 1.8.1.3 Observación visual. | 017 |
| 1.8.1.3.1 Fuente de luz. | 018 |
| 1.8.1.3.2 Objeto. | 019 |
| 1.8.1.3.3 Observador. | 019 |
| 1.8.2 Medición por modelos de color. | 020 |
| 1.8.3 Modelo CIE XYZ (1931). | 021 |
| 1.8.4 Modelo CIE L*a*b* (1976). | 024 |
| 1.8.5 Diferencia de color dE*. | 028 |
| 1.9 Regresión múltiple. | 029 |
| 1.9.1 Selección de variables explicativas en la regresión. | 029 |
| 1.9.1.1 Método de eliminación hacia atrás. | 030 |
| 1.9.1.2 Método de eliminación hacia delante. | 030 |
| 1.9.1.3 Método de “Stepwise”. | 030 |
| 1.10 Análisis de varianza. | 031 |
| 2. DISEÑO METODOLÓGICO | 033 |
| 2.1 Variables. | 033 |
| 2.1.1 Variables independientes. | 033 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 2.1.1.1 | Porcentaje de sólidos totales del disolvente usado. | 033 |
| 2.1.1.2 | Coordenadas de Color L^* , a^* y b^* del disolvente usado | 033 |
| 2.1.1.3 | Coordenadas de Color L^* , a^* y b^* del disolvente puro. | 033 |
| 2.1.1.4 | Temperatura. | . |
| 2.1.1.5 | Tipo de adsorbente. | |
| 2.1.1.6 | Dosificación de adsorbente. | |
| 2.1.1.7 | Tiempo de adsorción | |
| 2.1.2 | Variables dependientes. | 033 |
| 2.1.2.1 | Diferencia de color (dE^*) de las muestras tratadas, utilizando como referencia la mezcla de 70% acetato de etilo y 30% alcohol etílico. | 033 |
| 2.1.2.2 | Coordenadas de color L^* , a^* , b^* , C^* , H^* en función del contenido de sólidos. | 033 |
| 2.2 | Delimitación del campo de estudio. | 034 |
| 2.2.1 | Materia prima: | 034 |
| 2.2.2 | Modelo matemático. | 034 |
| 2.2.3 | Tratamientos con variables factoriales: | 035 |
| 2.2.4 | Adsorción. | 036 |
| 2.2.5 | Parámetros de aceptabilidad. | 036 |
| 2.3 | Recursos humanos. | 036 |
| 2.4 | Recursos Físicos. | 037 |
| 2.4.1 | Localización. | 037 |
| 2.4.2 | Cristalería: | 037 |
| 2.4.3 | Equipo. | 038 |
| 2.4.4 | Reactivos. | 039 |
| 2.4.5 | Recursos financieros disponibles. | 039 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 2.5 | Técnicas Cuantitativas. | 040 |
| 2.5.1 | Diferencia de L* (dL). | 040 |
| 2.5.2 | Diferencia de a* (da). | 040 |
| 2.5.3 | Diferencia de b* (db). | 041 |
| 2.5.4 | Saturación C*. | 041 |
| 2.5.5 | Tonalidad o matiz H*. | 042 |
| 2.5.6 | Diferencia de C* (dC*). | 042 |
| 2.5.7 | Diferencia de H* (dH*). | 043 |
| 2.5.8 | Diferencia de color (dE*). | 043 |
| 2.5.9 | Modelo matemático de porcentaje de sólidos en función de coordenadas de color. | 044 |
| 2.5.10 | Porcentaje de reducción relativa de sólidos. | 046 |
| 2.6 | Recolección y ordenamiento de la información. | 047 |
| 2.6.1 | Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento de adsorbente, dosificación y tiempo de agitación de menor diferencia de color utilizando como referencia la mezcla de solventes (acetato de etilo y alcohol etílico). | 047 |
| 2.6.2 | Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento que minimiza en mayor cantidad el porcentaje de sólidos en el disolvente recuperado. | 048 |
| 2.6.3 | Pruebas para determinar el adsorbente con mayor cantidad de ciclos de reutilización. | 048 |
| 2.7 | Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información. | 050 |
| 2.7.1 | Pruebas a pequeña escala para determinar el | |

| | |
|---|-----|
| tratamiento de adsorbente, dosificación y tiempo de agitación de menor diferencia de color, utilizando como referencia la mezcla de solventes (acetato de etilo y alcohol etílico). | 050 |
| 2.7.2 Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento que minimiza en mayor cantidad el porcentaje de sólidos en el disolvente recuperado. | 050 |
| 2.7.3 Pruebas para determinar el adsorbente con mayor cantidad de ciclos de reutilización. | 053 |
| 2.7.4 Elección de tratamiento de adsorbente, dosificación y tiempo. | 053 |
| 2.8 Análisis estadístico. | 054 |
| 2.8.1 Promedio. | 054 |
| 2.8.2 Desviación estándar: | 056 |
| 2.8.3 Varianza. | 059 |
| 2.8.4 Análisis de varianza. | 062 |

3 RESULTADOS

| | |
|--|-----|
| 3.1 Diferencia de coordenadas de color. | 067 |
| 3.2 Porcentaje de reducción relativo de sólidos totales. | 069 |
| 3.2.1 Modelo matemático que determina porcentaje de sólidos totales en función de las coordenadas de color L^* , a^* y b^* . | 069 |
| 3.2.2 Porcentaje de reducción relativo de sólidos totales de cada tratamiento. | 070 |
| 3.3 Ciclos de reutilización del adsorbente. | 072 |
| 3.4 Adsorbente a utilizar en el sistema de recuperación de disolventes. | 073 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.5 | Análisis estadístico | 075 |
| 4 | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 077 |
| 5 | LOGROS ALCANZADOS | 081 |
| | CONCLUSIONES | 083 |
| | RECOMENDACIONES | 085 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 087 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 091 |
| | APÉNDICES | |
| | Apéndice 1. Código de muestras | 095 |
| | Apéndice 2. Coordenadas de color. | 097 |
| | Apéndice 3. Índice de refracción, | 127 |
| | Apéndice 4. Ciclos de reutilización del adsorbente. | 129 |
| | Apéndice 5. Regresión Lineal. | 135 |
| | Apéndice 6. Requisitos Académicos | 137 |
| | Apéndice 7. Diagrama de Causa y Efecto. | 139 |
| | ANEXOS | |
| | Anexo 1. Características de los adsorbentes. | 141 |
| | Anexo 2. Características de los disolventes. | 149 |
| | Anexo 3. Fotografías. | 155 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Espectro electromagnético. | 001 |
| 2. | Espectro visible. | 013 |
| 3. | Longitud de onda en función del color. | 013 |
| 4. | Elementos del color. | 014 |
| 5. | Colores primarios de la luz. | 015 |
| 6. | Colores aditivos. | 016 |
| 7. | Colores sustractivos. | 017 |
| 8. | Elementos de la observación visual cuantificados. | 018 |
| 9. | Distribución espectral de la luz solar. | 018 |
| 10. | Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda. | 019 |
| 11. | Determinación del observador colorimétrico patrón. | 020 |
| 12. | Diagrama de cromaticidad en el modelo CIE (1931 | 022 |
| 13. | Observador CIE 1931 2° y CIE 1964 10°. | 023 |
| 14. | Tres estímulos en función de la longitud de onda y del tipo de observador CIE | 023 |
| 15. | Espacio del color CIE $L^*a^*b^*$. | 026 |
| 16. | Espacio del color CIE $L^*a^*b^*C^*H^*$. | 027 |
| 17. | Representación de luminosidad, matiz y saturación. | 027 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 18 | ANOVA de tres factores. | 032 |
| 19. | Ventana de ingreso de variables dependientes e independientes. | 051 |
| 20. | Ventana de selección de regresión lineal. | 051 |
| 21. | Ventana de selección de tipo de variables. | 052 |
| 22. | Ventana de ingreso de variables para análisis de varianza. | 062 |
| 23. | Ventana de selección del tipo de análisis de varianza | 063 |
| 24. | Ventana de ingreso de tipo de variables para análisis de varianza. | 063 |
| 25. | Ventana de selección de confiabilidad para análisis de varianza. | 064 |
| 26. | Diferencia de color (dE^*) de cada tratamiento, utilizando como referencia la mezcla de disolventes acetato de etilo/alcohol etílico (70/30). | 067 |
| 27 | Porcentaje de sólidos totales. | 069 |
| 28. | Porcentaje de reducción relativo de sólidos en función del tipo del tratamiento. | 070 |
| 29. | Gráfica de luminosidad (L^*), en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente. | 105 |
| 30. | Gráfica de a^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente. | 105 |
| 31. | Gráfica de b^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente y/o absorbente. | 106 |
| 32. | Gráfica de C^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente. | 106 |
| 33. | Gráfica de tonalidad H^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente. | 107 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 34. | Gráfica de diferencia de luminosidad dL^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente absorbente, referencia AMS. | 107 |
| 35. | Gráfica de da^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS. | 108 |
| 36. | Gráfica de db^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS. | 108 |
| 37. | Gráfica de dC^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS. | 109 |
| 38. | Gráfica de diferencia de tonalidad dH^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS. | 109 |
| 39. | Gráfica de diferencia de color dE^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS. | 110 |
| 40. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de solvente recuperado tratado con adsorbente tipo I 18g/L, referencia AMS. | 110 |
| 41. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de solvente recuperado tratado con el adsorbente tipo I 36g/L, referencia AMS. | 111 |
| 42. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de solvente tratado con el adsorbente tipo II 18g/L a diferentes, referencia AMS. | 111 |
| 43. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de solvente tratado con el adsorbente ipo II 36g/L, referencia AMS. | 112 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 44. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de solvente tratado con el adsorbente tipo III 18g/L, referencia AMS. | 112 |
| 45. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de solvente tratado con el adsorbente tipo III 36g/L, referencia AMS. | 113 |
| 46. | Gráfica de diferencia de luminosidad (dL^*), en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT. | 120 |
| 47. | Gráfica de da^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT | 120 |
| 48. | Gráfica de db^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT | 121 |
| 49. | Gráfica de dC^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT. | 121 |
| 50. | Gráfica de diferencia de tonalidad dH^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT. | 122 |
| 51. | Gráfica de diferencia de color (dE^*), en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT. | 122 |
| 52. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con el adsorbente tipo I 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT. | 123 |
| 53. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con el adsorbente tipo I 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT. | 123 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 54. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con el adsorbente tipo II, 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT. | 124 |
| 55. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con adsorbente tipo II 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT. | 124 |
| 56. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con el adsorbente tipo III 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT. | 125 |
| 57. | Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con el adsorbente tipo III 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT. | 125 |
| 58. | Índice de refracción en función del tratamiento. | 127 |
| 59. | Requisitos académicos de la evaluación de tres adsorbentes para la reducción del porcentaje de sólidos totales en la recuperación de la mezcla de acetato de etilo/alcohol etílico, en el proceso de limpieza de equipo en la industria gráfica. | 137 |
| 60. | Diagrama de Causa y Efecto de la evaluación de tres adsorbentes para la reducción del porcentaje de sólidos totales en la recuperación de la mezcla de acetato de etilo/alcohol etílico, en el proceso de limpieza de equipo en la industria gráfica. | 139 |
| 61. | Diagrama NFPA del acetato de etilo. | 150 |
| 62. | Diagrama NFPA del alcohol etílico. | 152 |
| 63. | Muestra de tintas y disolventes sin tratar. | 155 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 64. | Balanza de masa. | 156 |
| 65. | Equipo de agitación de seis aspas. | 157 |
| 66. | Equipo de filtración. | 158 |
| 67. | Rodillo, barra amarilla y roja. | 159 |
| 68. | Cama de arrastre y barra roja. | 160 |
| 69. | Arrastres de disolventes tratados | 161 |
| 70. | Ventana de lectura del espectrofotómetro <i>Gretag</i> <i>Macbeth</i> | 162 |
| 71. | Equipo de medición de coordenadas de color <i>Gretag</i> <i>Macbeth</i> . | 163 |
| 72. | Espectrofotómetro <i>Gretag Macbeth</i> . | 164 |
| 73. | Equipo de medición de coordenadas de color <i>Gretag</i> <i>Macbeth</i> , computadora e impresora. | 165 |
| 74. | Muestra tratada ADS1.2.4 | 166 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Diseño factorial de tratamientos. | 35 |
| II. | Equipo a utilizar en la metodología. | 38 |
| III. | Reactivos, especificación y cantidad a utilizar en la metodología. | 39 |
| IV. | Recursos financieros. | 39 |
| V. | Promedio de Coordenadas de color. | 55 |
| VI. | Desviación estándar de coordenadas de color. | 57 |
| VII. | Desviación estándar de diferencia de coordenadas de color. | 58 |
| VIII. | Varianza de coordenadas de color. | 60 |
| IX. | Varianza diferencia de coordenadas de color. | 61 |
| X. | Datos para análisis de varianza de tres factores y una variable de respuesta. | 65 |
| XI. | Número de tratamientos y de repeticiones por factor | 66 |
| XII. | Diferencia de color (dE^*) de cada tratamiento, utilizando como referencia la mezcla de disolventes acetato de etilo/alcohol etílico (70/30). | 68 |
| XIII. | Porcentaje de reducción relativo de sólidos en función del tratamiento. | 71 |
| XIV. | Ciclos de reutilización del adsorbente y datos de las propiedades del ADS1.2.4 | 72 |
| XV. | Adsorbente, dosificación y tiempo de agitación a utilizar en la recuperación de disolventes. | 73 |

| | | |
|--------|--|-----|
| XVI. | Propiedades y datos del tratamiento con el adsorbente tipo I, dosificación 36g/L y tiempo de agitación de 4 horas. | 73 |
| XVII. | Análisis de varianza para cada tratamiento, tomando como variable de respuesta el porcentaje de sólidos. | 74. |
| XVIII. | Análisis de varianza para cada tratamiento, tomando como variable de respuesta la diferencia de color. | 75 |
| XIX. | Significado de las letras del código para identificar las muestras tratadas. | 95 |
| XX. | Significado de los dígitos del código. | 96 |
| XXI. | Coordenadas de color L*, a*, b*, C* y H* de papel filtro tipo Whatman 1 | 97 |
| XXII. | Coordenadas de color L*, a*, b* de la mezcla de Disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30% y diferencia de coordenadas de color utilizando como referencia papel filtro. | 97 |
| XXIII. | Coordenadas de color L*, a*, b*, C* y H* del arrastre de tinta no tratada y diferencia de coordenadas de color utilizando como referencia papel filtro. | 98 |
| XXIV. | Luminosidad L* y diferencia de coordenada (dL^*), utilizando como referencia de la mezcla de disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30% | 99 |
| XXV | Coordenada a* y diferencia de coordenada (da^*), utilizando como referencia de la mezcla de disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%. | 100 |
| XXVI | Coordenada b* y diferencia de coordenada (db^*), utilizando como referencia de la mezcla de disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al | 101 |

| | | |
|----------|---|-----|
| XXVII. | Coordenada C^* y diferencia de coordenada (dC^*), utilizando como referencia de la mezcla de disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30% | 102 |
| XXVIII. | Tonalidad H^* y diferencia de tonalidad (dH^*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%. | 103 |
| XXIX. | Diferencia de coordenadas de color (dE^*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%. | 104 |
| XXX | Luminosidad (L^*) y diferencia de coordenada (dL^*), utilizando como referencia ATNT. | 114 |
| XXXI. | Coordenada a^* y diferencia de coordenada (da^*), utilizando como referencia ATNT. | 115 |
| XXXII. | Coordeanda b^* y diferencia de coordenada (db^*),utilizando como referencia ATNT. | 116 |
| XXXIII. | Coordenada C^* y diferencia de coordenada de color (dC^*), utilizando como referencia ATN. | 117 |
| XXXIV. | Tonalidad (H^*) y diferencia de coordenada (dH^*), utilizando como referencia ATNT. | 118 |
| XXXV. | Diferencia de coordenadas de color (dE^*), utilizando como referencia ATNT. | 119 |
| XXXVI. | Índice de refracción. | 127 |
| XXXVII. | Luminosidad (L^*) en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4. | 129 |
| XXXVIII. | Coordenada a^* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4. | 130 |
| XXXIX. | Coordenada b^* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4. | 131 |

| | | |
|-------|---|-----|
| XL. | Coordenada C* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4. | 132 |
| XLI. | Tonalidad H* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4. | 133 |
| XLII | Coeficiente del modelo matemático que determina porcentaje de sólidos en función de las coordenadas de color a*. | 135 |
| XLIII | Variables descartadas en el modelo matemático que determina porcentaje de sólidos en función de las coordenadas de color. | 135 |
| XLIV | Costo de adsorbentes en el mercado guatemalteco (octubre 2009). | 148 |
| XLV | Propiedades físicas y químicas del acetato de etilo. | 149 |
| XLVI | Propiedades físicas y químicas del alcohol etílico. | 152 |

GLOSARIO

| | |
|------------------------|---|
| <i>a</i> | Representa la ubicación del color dentro del rango de rojo (positivo) a verde (negativo). |
| Arrastre | Se refiere a la técnica de adherir utilizando una barra como herramienta para deslizar el fluido líquido de forma homogénea sobre una superficie sólida o sustrato. |
| <i>b</i> | Representa la ubicación del color dentro del rango amarillo (positivo) a azul (negativo). |
| Carbón activado | Material poroso con alta capacidad adsorbente. |
| <i>CIE</i> | Siglas de la Comisión Internacional de Iluminación, es la principal organización internacional interesada en el color y manejo del color. |

| | |
|-----------------------------|---|
| Colorimetría | Ciencia que estudia objetivamente los colores y su medición, teniendo en cuenta la manera como los percibe el ojo humano. |
| Colorímetro | Instrumento que mide el color. |
| Cromaticidad: | Es el matiz y la saturación de un color. |
| Diamante <i>NFPA</i> | Código establecido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego. En inglés: <i>National Fire Protection Association</i> (NFPA). El azul indica riesgos de salud, el rojo peligro de inflamabilidad y el amarillo riesgos por reactividad. A estas divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo). |
| Espectrofotómetro | Es un instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones. |

Fóvea

Es una pequeña depresión en la retina, ocupa un área total un poco mayor de un milímetro cuadrado. En todos los mamíferos la fóvea es el área de la retina donde se enfocan los rayos luminosos y se encuentra especialmente capacitada para la visión aguda y detallada.

Índice de refracción

Es una constante característica de cada medio y representa el número de veces que es mayor la velocidad de la luz en el vacío que en ese medio.

Longitud de onda

Es la distancia entre dos crestas consecutivas. La unidad de medida de longitud de onda es el nanómetro.

Luminosidad

Es el atributo de percepción que se refiere al grado en el cual el color parece exhibir más o menos luz.

Matiz o tono

Es una característica del color que se determina por la longitud de onda dominante.

| | |
|----------------------------------|---|
| Porcentaje de sólidos | Es el valor de sólidos en una muestra relacionando la cantidad de sólidos al evaporar la muestra y la cantidad de muestra total. |
| Refractómetro | Equipo que compara el ángulo de incidencia con el ángulo de refracción de la luz de una longitud de onda específica, mide los valores de color por la intensidad relativa de cada uno de los componentes de las longitudes de onda del espectro |
| Región Fóveal | Región del ojo donde se encuentra la fóvea. |
| Saturación | Se refiere a una pureza relativa de un color dominante, es decir a la cantidad de blanco que se mezclaría con el tono. |
| Sustrato | Material sobre el cual se aplica la tinta o fluido líquido. |
| Valores de tres estímulos | Lecturas de color basadas en los colores primarios: amarillo, magenta y cian representados por X,Y,Z. |

Cian

Color sustractivo de tono azul verdoso, su nombre viene del griego *ciano* y la longitud de onda con rango de 487nm hasta 505nm.

Amarillo

Color con rango de longitud de onda entre 565nm y 580nm, la mezcla de la luz roja y verde es captada por el ojo humano como amarillo.

Magenta

Color rojo oscuro intenso, el origen del nombre fue inspirado por la batalla ocurrida en la localidad de Magenta, Italia el 4 de junio de 1859, en alusión al color de la sangre derramada.

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------|-------------------------------|
| α | Factor tipo de adsorbente |
| β | Factor dosificación |
| γ | Factor tiempo de agitación |
| λ | Longitud de onda |
| % | Porcentaje |
| %S | Porcentaje de sólidos totales |
| σ | Varianza |
| °C | Grados <i>celcius</i> |
| A° | <i>Amstrong</i> |
| A | Tipo de adsorbente |
| Ar | Área |
| a* | Valor determinado de a |
| ar | Referencia del valor de a |
| b* | Valor determinado de b |
| br | Referencia del valor de b |
| C* | Saturación |
| Cr | Saturación de referencia |
| cm | Centímetros |
| cm ² | Centímetros cuadrados |
| D | Dosificación |
| dC* | Diferencia de saturación |
| dE* | Diferencia de color |
| dH* | Diferencia de tonalidad |
| dL* | Diferencia de luminosidad |
| g | Gramos |

| | |
|---------------|-------------------------------|
| <i>h</i> | Hora |
| <i>H*</i> | Tonalidad |
| <i>Hr</i> | Tonalidad de referencia |
| <i>Ho</i> | Hipótesis nula |
| <i>Ha</i> | Hipótesis alterna |
| Kg | Kilogramos |
| <i>L</i> | Litros |
| <i>L*</i> | Valor de Luminosidad |
| <i>Lr</i> | Luminosidad de referencia |
| <i>nm</i> | Nanómetro |
| <i>pH</i> | Potencial de Hidrogeno |
| <i>Rr</i> | Reducción relativo de sólidos |
| <i>Sr</i> | Disolvente tratado |
| <i>Sv</i> | Disolvente virgen |
| <i>S</i> | Desviación estándar |
| <i>s</i> | <i>Segundos</i> |
| <i>Tang-1</i> | Tangente inversa |
| <i>X</i> | Promedio |
| <i>Y</i> | Tratamiento |

RESUMEN

Se realizó el estudio con el principal objetivo de evaluar la posibilidad de reutilizar una mezcla de disolventes con residuos de la manufactura, procedentes de la limpieza de equipo en una empresa productora de tintas para empaque, mediante el tratamiento con adsorción utilizando como parámetros de aceptabilidad el porcentaje de reducción relativo de sólidos y la diferencia de color de las muestras tratadas y la mezcla de acetato de etilo 70% y alcohol etílico 30%.

Se prepararon mezclas de disolventes con residuos de tinta y se estableció un modelo matemático que determinó el porcentaje de sólidos totales en función del valor de las coordenadas de color L^* , a^* y b^* . La mezcla obtenida del proceso de limpieza se trató utilizando tres tipos de adsorbentes a dos dosificaciones y cinco tiempos de adsorción. A los treinta tratamientos resultantes se les midió las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , se determinó el porcentaje de reducción relativo de sólidos totales ($\%Rr$) y la diferencia de color (dE^*).

El análisis de varianza con 95% de confiabilidad determinó que el porcentaje de sólidos totales ($\%S$) depende del tipo de adsorbente y dosificación.

Las muestras tratadas con el adsorbente tipo 1 dosificación 36g/L y tiempo de adsorción de 1, 2, 3, 4 y 5 horas cumplen con los parámetros de aceptabilidad, por lo tanto se pueden reutilizar en el proceso de limpieza.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Evaluar el proceso de recuperación de disolventes usados, conteniendo residuos de la manufactura, procedentes de la limpieza de equipo, en una empresa productora de tintas, mediante la reducción del porcentaje de sólidos totales.

ESPECÍFICOS:

1. Determinar la diferencia de color (dE^*) de muestras de disolventes usadas y refinadas, en relación a la mezcla de disolventes puros de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.
2. Determinar el porcentaje de reducción relativo de sólidos totales (%Rr) de las muestras de disolventes usados y refinados, para establecer el parámetro aceptable de reutilización, mediante un modelo matemático que determine el porcentaje de sólidos en función de las coordenadas de color L^* , a^* , b^* .

3. Evaluar la capacidad del adsorbente para limpieza de disolvente usado, en función de los ciclos de reutilización del adsorbente.
4. Proponer el tratamiento de refinamiento de disolventes, mediante adsorbentes en función de la reducción del porcentaje relativo de sólidos totales ($\%Rr$) y la diferencia de color (dE^*).
5. Evaluar los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico del porcentaje de sólidos totales ($\%S$) y la diferencia de color (dE^*).

HIPÓTESIS

Es posible realizar el estudio de la evaluación de tres adsorbentes para la reducción del porcentaje relativo de sólidos totales en la recuperación de acetato de etilo / alcohol etílico, en el proceso de limpieza de equipo en la industria gráfica, realizando tratamientos a diferentes dosificaciones y tiempos de agitación, evaluando el porcentaje de sólidos totales (%S) y diferencia de color (dE^*).

Hipótesis nula:

H_0 = no existen variaciones significativas en la respuesta calculada en los tratamientos de diferentes tipos de adsorbente α , dosificación (g/L) β y tiempo de agitación (h).

$$H_0: \mu_{\alpha 1} = \mu_{\alpha 2} = \mu_{\alpha 3} = 0$$

$$H_0: \mu_{\beta 1} = \mu_{\beta 2} = 0$$

$$H_0: \mu_{\gamma 1} = \mu_{\gamma 2} = \mu_{\gamma 3} = \mu_{\gamma 4} = \mu_{\gamma 5} = 0$$

Hipótesis alterna:

H_a = existen variaciones significativas en las respuestas encontradas en los tratamientos de diferentes tipos de adsorbente α , dosificación (g/L) β y tiempo de agitación (h).

$$H_a: \text{al menos una } \mu_{\alpha i} \neq 0$$

$$H_a: \text{al menos una } \mu_{\beta i} \neq 0$$

$$H_a: \text{al menos una } \mu_{\gamma i} \neq 0$$

INTRODUCCIÓN

En la industria gráfica se han implementado técnicas que mejoran la eficiencia del proceso e incrementan las utilidades, mientras que se minimiza el impacto ambiental con la reducción o reutilización de la salida de desechos, utilizando procesos de ingeniería.

En una empresa de tintas para empaques, limpian sus equipos utilizando una mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%, el resultante del proceso es una mezcla de disolventes y tinta que se debe desechar, la empresa está interesada en el diseño de un sistema de reutilización de la mezcla para la limpieza de equipos.

Desde tiempos antiguos, los egipcios descubrieron que el carbón de madera podía utilizarse para purificar otros productos e incluso usarse con fines medicinales. En la actualidad, el carbón activado es utilizado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo cual lo podemos encontrar en aplicaciones sencillas como peceras o filtros de refrigerador, hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos.

El carbón activado es el adsorbente por excelencia y se aplica en todo proceso donde sea necesario separar una sustancia de interés de un contaminante.

Por lo tanto, se realizó el tratamiento del disolvente usado, mediante adsorción con tres tipos de carbón activado a dos dosificaciones y cinco tiempos de agitación.

Se midieron las coordenadas de color L^* , a^* y b^* de las muestras tratadas y se determinó la diferencia de color, utilizando como referencia la mezcla de disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%, así mismo se determinó el porcentaje de reducción relativo de sólidos totales, para conocer si la muestra tratada tiene características similares a la mezcla de disolventes puros.

Este estudio establece los fundamentos de investigación previos al diseño de un equipo que favorezca a la empresa y reduzca el impacto al medio ambiente al disminuir los desechos líquidos generados y mejorar la calidad de descarga, empleando adsorbentes disponibles en el mercado nacional.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Tinta de impresión

Es una dispersión de partículas finas en un medio líquido, que sirve para dar cubrimiento o embellecimiento a un soporte, mediante un sistema de aplicación especializado.

Constituida principalmente por formadores de película, plastificantes, solventes y pigmentos.

1.1.1 Formadores de película de tinta

Su función es crear una película dura y resistente, sin este componente la tinta no podría adherirse, tener continuidad u otra característica relacionada con la formación de la película en una tinta impresa.

Formadores de película más conocidos: nitrocelulosa, etil celulosa, poliamidas, hule clorado y las resinas vinílicas.

1.1.2 Plastificantes de tinta

Son productos naturales o sintéticos, responsables de proporcionar a las películas flexibilidad.

La ausencia o deficiencia de plastificantes en una tinta, producirá desprendimiento en el área del dobléz, en los materiales impresos sobre sustratos como polietilenos, propilenos, celofanes, etc. Por lo tanto es de suma importancia que la calidad del plastificante esté acorde con las expectativas que se tengan de su funcionamiento en determinados impresos.

Plastificantes más conocidos: aceite de ricino (natural) y trifeníl fosfato (sintético).

1.1.3 Disolventes de tinta

Estos productos y su selección están directamente relacionados con la viscosidad de las tintas flexográficas. Los solventes son los responsables de proporcionar a las tintas las características de fluidez, transporte y secado apropiados.

Los disolventes más utilizados en las tintas son los alcoholes y los ésteres.

1.1.4 Pigmentos

Son los componentes más importantes en la formulación de tintas, proporcionan el color, transparencia, opacidad, resistencia química, resistencia a la luz, etc. La apariencia física de los pigmentos, es de polvos ligeros con alta capacidad de pigmentación. Estos materiales al ser incorporados en las tintas deben ser previamente molidos, utilizando algún equipo industrial para la reducción de su tamaño, existiendo en el mercado molinos de perlas, de balines, de bolas, tricilíndricos, bicilíndricos o de rodillos siendo estos últimos los más apropiados en la molienda de tintas para flexografía.

Ejemplos de pigmentos inorgánicos: amarillos cromos, naranja molibdato, azul de hierro, negros de humo, blancos opacos (titanio). Ejemplos de pigmentos orgánicos: amarillo diarilida, rojo lithol, azul y verde ftala, tungsto-molibdatos, etc.

1.2 Disolvente

Es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. Es el medio dispersante de la disolución. Normalmente, el disolvente establece el estado físico de la disolución, también es el componente de la mezcla que se encuentra en mayor proporción. Las moléculas de disolvente ejercen su acción al interactuar con las del soluto y rodearlas, esto se conoce como solvatación. Solutos polares serán disueltos por disolventes polares al establecerse interacciones electrostáticas entre los dipolos. Los solutos apolares disuelven las sustancias apolares por interacción entre dipolos inducidos.

1.2.1 Clasificación de los disolventes

Disolventes polares: Son sustancias en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es asimétrica, la molécula presenta un polo positivo y otro negativo separado por cierta distancia, esto forma un dipolo permanente. Los alcoholes de baja masa molecular también pertenecen a este tipo. Los disolventes polares se pueden subdividir en próticos y áproticos.

Disolventes polares próticos: contienen un enlace *O-H* o del *N-H*. Por ejemplo el alcohol etílico CH_3-CH_2-OH .

Disolventes polares áproticos: son disolventes polares que no tiene enlaces *O-H* o *N-H*, es decir que su polaridad no provoca las uniones de tipo hidrógeno. Por ejemplo la acetona $CH_3-C(=O)-CH_3$.

Disolventes apolares: Son sustancias de tipo orgánico y en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es simétrica, por lo tanto, estas sustancias carecen de polo positivo y negativo en sus moléculas. No pueden considerarse dipolos permanentes. Esto no implica que algunos de sus enlaces sean polares. Todo dependerá de la geometría de sus moléculas. Si los momentos dipolares individuales de sus enlaces están compensados, la molécula será en conjunto apolar.

1.3 Solubilidad

Es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra. Puede expresarse en moles por litro, gramos por litro y en porcentaje de soluto, en algunas condiciones puede sobrepasarla, denominándose a estas soluciones sobresaturadas. La sustancia que se disuelve se denomina soluto y la sustancia donde se disuelve el soluto se llama disolvente. En la solubilidad, el carácter polar o apolar de la sustancia influye mucho, debido a esto la sustancia será más o menos soluble. La solubilidad de una sustancia depende de la naturaleza del disolvente y soluto, así como de la temperatura y la presión del sistema, es decir de la tendencia del sistema a alcanzar el valor máximo de entropía. Al proceso de interacción entre las moléculas del disolvente y las partículas del soluto para formar agregados se le llama solvatación.

1.4 Sorción

Término del manual del Ingeniero Químico (ref. No.1) que se refiere al contacto que se establece entre una fase fluida libre (gas o líquido) con una fase de macropartícula rígida y permanente, que tiene la propiedad de tomar y almacenar en forma selectiva una o más especies de soluto contenido originalmente en el fluido. Se refiere a la adsorción, absorción e intercambio iónico.

1.4.1 Adsorción

Es un proceso de separación en la que ciertos componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido adsorbente.

Las operaciones de adsorción explotan la capacidad especial de ciertos sólidos para hacer que sustancias específicas de una solución se concentren en la superficie de la misma. Todas estas operaciones son similares en que la mezcla por separar se pone en contacto con otra fase insoluble, el sólido adsorbente, y en que la distinta distribución de los componentes originales entre la fase adsorbida en la superficie sólida y el fluido permite que se lleve a cabo la separación.

1.4.1.1 Tipos de adsorción:

Se debe distinguir dos fenómenos de adsorción: físicos y químicos.

La adsorción física o adsorción de "*Van der Waals*" es un fenómeno fácilmente reversible, es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida. La sustancia adsorbida no penetra dentro de la red cristalina, ni se disuelve en ella, sino que permanece totalmente sobre la superficie. Sin embargo, si el sólido es muy poroso y contiene muchos pequeños capilares, la sustancia adsorbida penetra en estos intersticios si es que la sustancia humedece al sólido.

La quemisorción o adsorción activada, es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza de la unión química puede variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos en el sentido usual, la fuerza de adhesión es generalmente mucho mayor que la observada en la adsorción química. El calor liberado durante la quemisorción es comúnmente grande, es parecido al calor de una reacción química. El proceso frecuentemente es irreversible, en la desorción, de ordinario se descubre que la sustancia ha sufrido de un cambio químico.

1.4.1.2 Naturaleza de los adsorbentes

Los sólidos deben poseer ciertas propiedades relativas a la ingeniería, según la aplicación que se les vaya a dar. Si se utilizan en un lecho fijo a través del cual va a fluir un líquido o un gas, no deben ofrecer una caída de presión del flujo muy grande, ni deben ser arrastradas con facilidad por la corriente que fluye. Deben tener adecuada consistencia para que no se reduzca su tamaño al ser manejados o para que no se rompan al soportar su propio peso en lechos del espesor requerido. Si se van a sacar y meter con frecuencia de los recipientes que los contienen, deben fluir libremente. Estas son propiedades fácilmente reconocibles.

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas sobre las paredes de los poros en puntos específicos. Puesto que los poros son generalmente muy pequeños, el área de la superficie interior de las partículas sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La separación se produce debido a que las diferencias de peso molecular o de polaridad dan lugar a que algunas moléculas se adhieren más fuertemente a la superficie que otras. Los adsorbentes con mayor tamaño de poro son preferibles para el caso de líquidos. Los adsorbentes más empleados son el gel de sílice, alúmina, carbón activado y determinadas resinas sintéticas.

1.4.1.3 Carbón activado

Es un material de color negro, de carbón poroso, que se ha sometido a reacción con gases oxidantes (como dióxido de carbono CO_2 o aire), o con vapor de agua, o bien a un tratamiento con adición de productos químicos como el ácido sulfúrico H_3PO_4 , durante o después de un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Los utilizan para la purificación de líquidos y gases. Mediante el control adecuado de los proceso de carbonización y activación se puede obtener una gran variedad de carbones activados con diferentes atribuciones y diferentes tamaños de poros.

Mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser. El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados o más, por gramo de carbón.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseable; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción.

1.4.1.4 Proceso de activación

El proceso de activación consiste básicamente en multiplicar la cantidad de poros de un carbón, dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción de impurezas que provocan olor, color o sabor indeseable. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor.

1.4.1.4.1 Proceso físico

La activación física consiste en oxidar la materia prima a altas temperaturas en presencia de un agente oxidante, usualmente, vapor de agua. Debido a que la reacción es endotérmica es necesario generar una temperatura constante, normalmente y dependiendo de la materia prima, ésta es de 800 °C.

1.4.1.4.2 Proceso químico

La activación química se basa en la deshidratación de la materia prima, mediante sustancias químicas, a temperatura media (400 a 600 °C.), ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón. Los agentes químicos normalmente utilizados son el ácido fosfórico, el cloruro de zinc y el ácido sulfúrico.

1.4.1.5 Clasificación

En términos generales, los carbones activados se clasifican en dos grandes grupos, pudiendo tener un aspecto granular o en polvo. Otros aspectos que pueden caracterizar un tipo carbón activado son su resistencia a la abrasión, dureza y pureza química.

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos. Los poros de un carbón activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño:

- Microporos
- Poros medios
- Macroporos

Los microporos son poros con un radio menor o igual a 20 Å y son los que mayor área proporcionan. Son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

Los poros medios están en el rango de 20 a 500 Å y aunque su contribución al área total es menor que los microporos, su tamaño les permite adsorber moléculas grandes que por lo general están presentes en purificaciones de líquidos.

Los macroporos casi no contribuyen al área total del carbón pero su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros medios y micro poros, afectando la velocidad de difusión de las impurezas en el carbón.

Para medir el área total y el tamaño de los poros se suelen utilizar algunos índices como:

- Índice de yodo.
- Índice de melaza.
- Índice de azul de metileno.
- Índice de tetra cloruro de carbono.
- Índice de butano.

Estos índices nos dan una idea de que tan fácil se adsorben las moléculas de distintos tamaños, por lo que podemos darnos una idea del tipo de poros que tiene un carbón. Normalmente es difícil que un carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que tiene es una determinada distribución.

Cuando la media se inclina hacia los micro poros se dice que el carbón es de "*fase gaseosa*"; en caso contrario, el carbón será para "*fase líquida*".

1.5 Índice de refracción

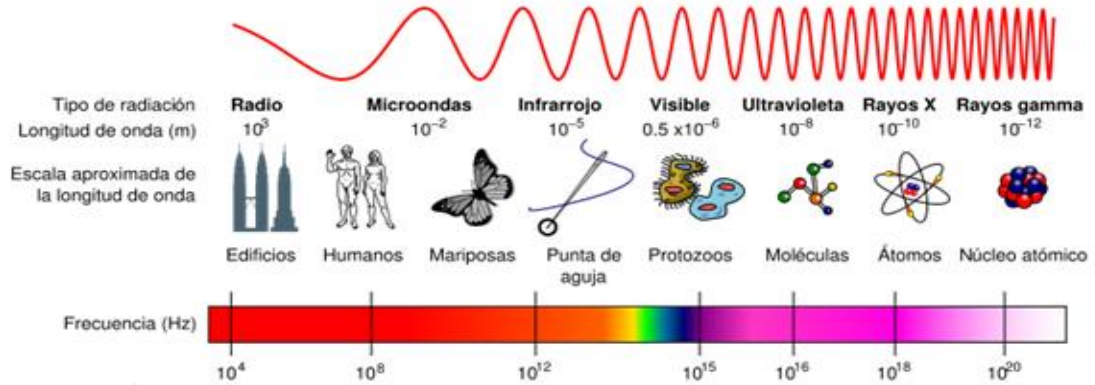
Es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en la sustancia o el medio transparente. Este número es mayor que la unidad y sin unidades. El índice de refracción se mide con un aparato llamado refractómetro en el que se compara el ángulo de incidencia con el ángulo de refracción de la luz de una longitud de onda específica. Como el índice de refracción es sensible a los cambios de temperatura y varía con la longitud de onda de la luz, deben especificarse ambas variables al expresar el índice de refracción de una sustancia.

1.6 Espectro electromagnético

Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como longitud de onda, frecuencia e intensidad de la radiación.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio, observe la figura 1.

Figura 1. Espectro electromagnético.

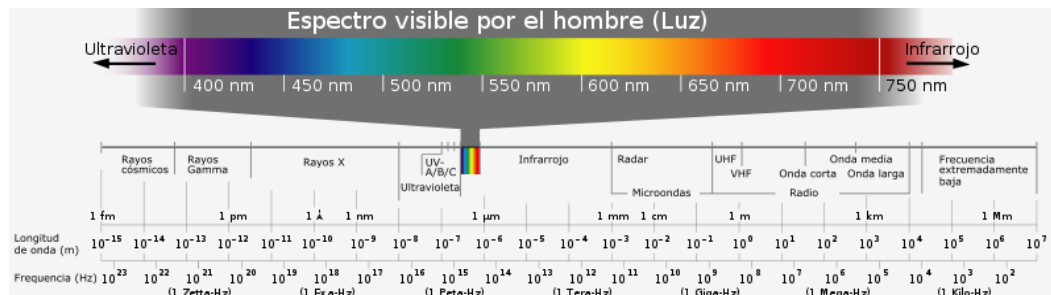


Fuente: NASA, Wikipedia, Espectro electromagnético.

1.7 Espectro visible


Por arriba de las radiaciones infrarrojas tenemos a lo que comúnmente llamamos luz. Es un tipo especial de radiación electromagnética que tiene una longitud de 380 a 700 nanómetros. En la figura 2 se describe el espectro visible en función de la longitud de onda y en la figura 3 se establece el color en función de la longitud de onda.

Figura 2. Espectro visible.



Fuente: Horst Frank, Wikipedia, Espectro Visible.

Figura 3. Longitud de onda en función del color.



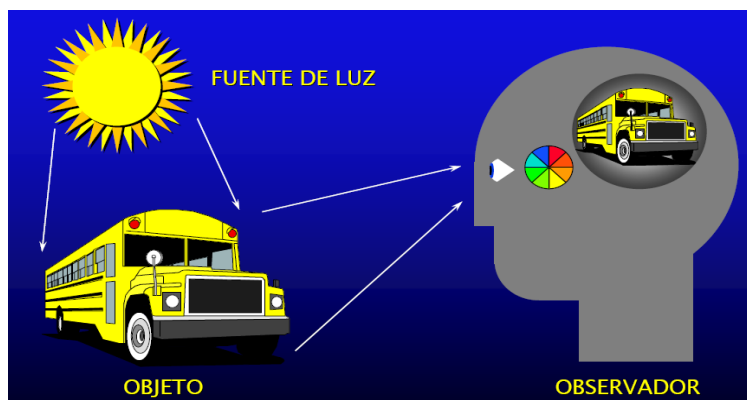
| Color | Longitud de onda |
|----------|------------------|
| violeta | 380–450 nm |
| azul | 450–495 nm |
| verde | 495–570 nm |
| amarillo | 570–590 nm |
| naranja | 590–620 nm |
| rojo | 620–750 nm |

Fuente: Gringer, Wikipedia, Espectro Visible.

1.8 Color

Sensación que se produce en respuesta a la estimulación del ojo y de sus mecanismos nerviosos, por la energía luminosa de ciertas longitudes de onda. Para que el color exista se necesitan tres elementos: objeto, observador, fuente de luz. Observe la figura 4.

Figura 4. Elementos del color.



Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios Básicos de Medida y Percepción del Color, página 5.

1.8.1 Teoría del color

El ojo es un sistema fotosensible, la retina funciona como foto receptor. En ella están los conos y los bastones. Los conos son los responsables de la visión del color, son tres y cada uno de ellos sensible a un tipo de luz distinta: roja, verde y azul.

1.8.1.1 Sistemas aditivos

Se crean añadiendo colores al negro para crear nuevos colores. Al agregar más colores a la mezcla se obtiene un color más parecido al blanco. La presencia de todos los colores primarios es suficiente para crear un blanco puro, mientras que la ausencia de los colores primarios crea un negro puro.

- Colores primarios de luz o colores primarios aditivos: rojo, verde y azul. La suma de los tres colores primarios da lugar al blanco.
- Colores secundarios de luz: Cualquier combinación de dos colores primarios. Rojo más azul da el magenta; verde más azul da el cian; rojo más verde da el amarillo.

Figura 5. Colores primarios de la luz.



Fuente: Siegwark Centroamérica S.A, Teoría del Color, página 9

Figura 6. Colores aditivos.



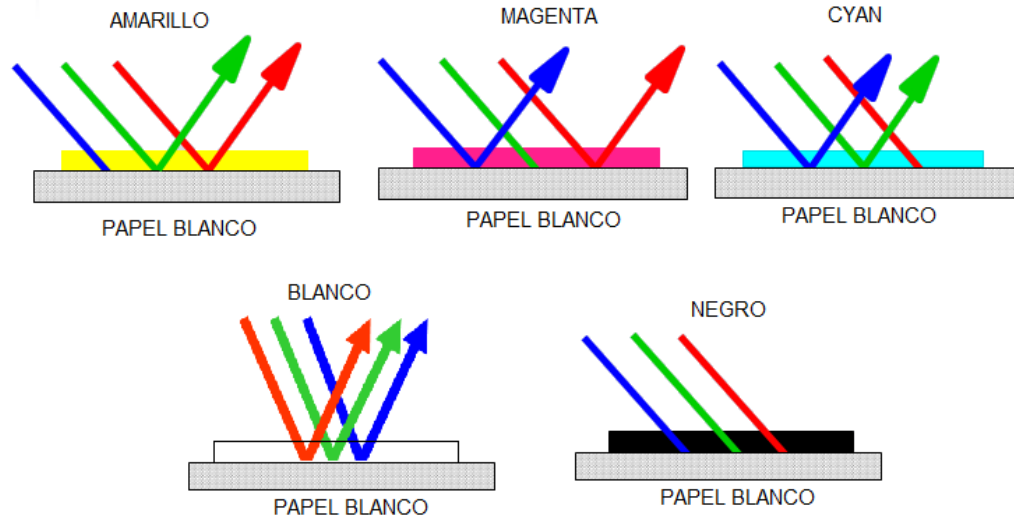
Fuente: Siegwark Centroamérica S.A, Teoría del Color, página 16

1.8.1.2 Sistemas sustractivos

Los colores primarios son sustraídos del blanco para formar nuevos colores. La presencia de todos los colores primarios sustractivos forman el negro y su ausencia el blanco.

- Colores primarios de pigmento o sustractivos: absorbe un color primario de luz y refleja los otros dos, (cian, magenta y amarillo). Cuando la luz incide sobre un color primario de pigmento lo que se observa es la combinación de dos colores primarios de luz
- Colores secundarios de pigmento: rojo, verde y azul.

Figura 7. Colores sustractivos.



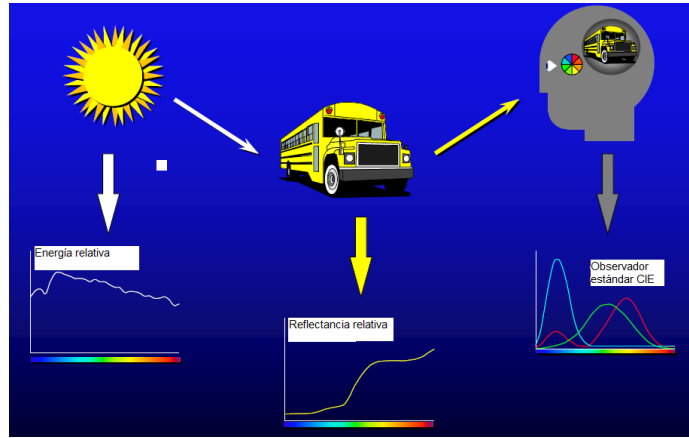
Fuente: Siegwirk Centroamérica S.A, Teoría del Color, página 16

Si se trabaja con fuentes luminosas primarias (las que emiten su propia luz) se usarán sistemas aditivos, si se trabaja con fuentes secundarias (las que reflejan o difuminan la luz emitida por otra fuente), se usarán sistemas sustractivos.

1.8.1.3 Observación visual

Los tres elementos de observación visual: fuente de luz, objeto y observador se pueden cuantificar. La fuente se cuantifica como un iluminante seleccionado por el usuario, el objeto midiendo su curva de reflectancia o transmisión y el observador se cuantifica según el observador CIE seleccionado.

Figura 8. Elementos de la observación visual cuantificados.

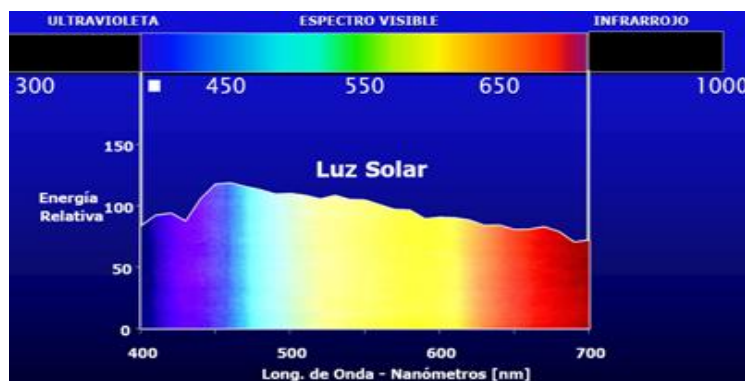


Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color, página 39.

1.8.1.3.1 Fuente de luz:

Se puede representar numéricamente por el iluminante que es la gráfica de la energía relativa de la luz a cada longitud de onda, esto crea la curva de distribución de energía que cuantifica las características espectrales de la fuente de luz.

Figura 9. Distribución espectral de la luz solar.

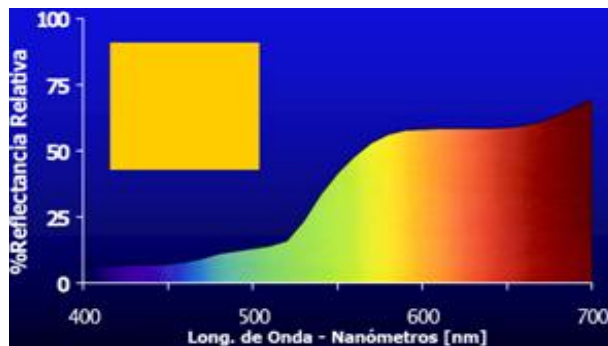


Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color, página 12.

1.8.1.3.2 Objeto

Los colorantes como los tintes o pigmentos, al aplicarlos al objeto absorben selectivamente unas longitudes de onda de la luz incidente mientras que se reflejan o transmiten sus complementarias. La cantidad de luz reflejada o transmitida a cada longitud de onda se puede cuantificar, esto forma una curva espectral de las características de transmisión o reflectancia relativa del objeto. Observe la figura 10.

Figura 10. Porcentaje de reflectancia.



Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color, página 22.

1.8.1.3.3 Observador:

El ojo humano tiene algunas limitaciones al distinguir diferencias de color:

- Pérdida de memoria de color
- Fatiga ocular
- Daltonismo
- Condición de visión específica; el ojo no detecta de la misma manera diferencias de matiz o croma.

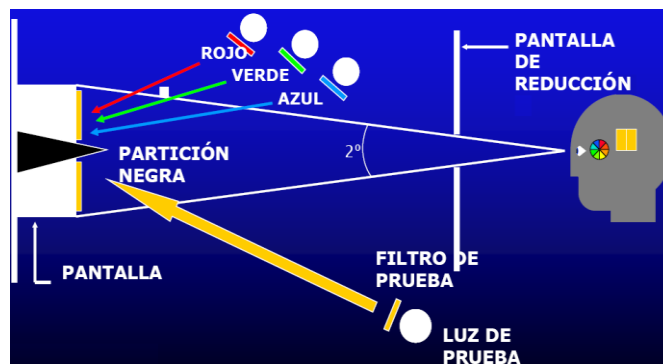
Por lo tanto, es necesario realizar la medición por modelos de color.

1.8.2 Medición por modelos de color

Facilita la especificación de objetos en colores de una forma estándar, un sistema de coordenadas tridimensional define un sub espacio donde cada color quede definido por un punto único.

Se realizó un experimento para cuantificar la habilidad del ojo humano de percibir color. Un observador miraba una pantalla blanca a través de una rendija que tenía dos grados de campo de visión. La mitad de la pantalla se iluminaba con una luz de prueba. El observador ajustaba la intensidad de tres luces correspondientes a los colores primarios que mezcladas en la otra mitad de la pantalla casaban con la luz de prueba. Este proceso se repitió para luces de prueba de distintos colores que cubrían todo el espectro visible. Las funciones x , y , z deducidas experimentalmente fueron el observador patrón *CIE XYZ* 1931. Estas funciones cuantifican la sensibilidad de los conos rojo, verde y azul del observador humano promedio.

Figura 11. Determinación del observador colorimétrico patrón.



Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color, página 31.

1.8.3 Modelo CIE XYZ (1931)

La necesidad de especificar un color y medir su luminosidad sin llevar a cabo cálculos extra y el hecho de que R (rojo), G (verde) y B (azul) muestren valores negativos llevó a la CIE a realizar una nueva recomendación donde se usan colores primarios genéricos supersaturados (irreales), lo cual evitará tener valores de tres estímulos negativos.

Ahora se tienen tres nuevos colores primarios: X , Y y Z . La conversión de RGB a XYZ se hace mediante una matriz. La combinación de X , Y y Z permite representar todos los colores posibles donde X , Y y Z son las luminancias de las nuevas fuentes consideradas como primarias: Y : Lleva toda la información de la luminancia del color. X , Z : Codifican la información del color.

$$x = \frac{X}{(X+Y+Z)}$$

Ecuación No.1

$$y = \frac{Y}{(X+Y+Z)}$$

Ecuación No.2

$$z = \frac{Z}{(X+Y+Z)}$$

Ecuación No.3

La luminosidad total se puede representar.

$$x+y+z=1$$

Ecuación No.4

Donde x , y , z son las coordenadas cromáticas. Normalmente, para describir un color se describirá en un coordenada (x, y) y Y , donde (x, y) es la cromaticidad. Por lo tanto:

$$Z = 1 - x - y$$

Ecuación No.5

$$X = x \left(\frac{Y}{y} \right)$$

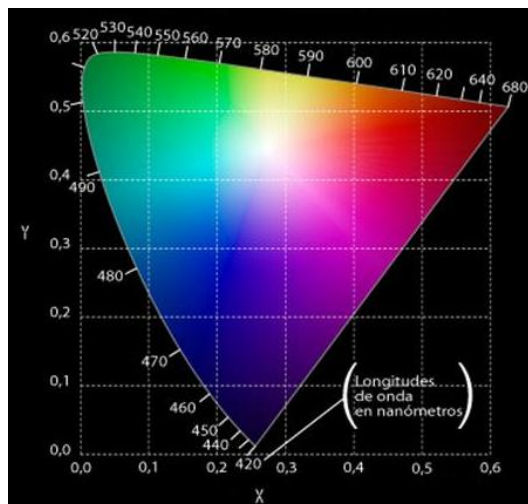
Ecuación No.6

$$Z = z \left(\frac{Y}{y} \right)$$

Ecuación No.7

En un diagrama cromático (x,y) para el observador patrón CIE 1931 queda estipulada la cromaticidad de un estímulo bajo un iluminante definido (Y). El diagrama de cromatismo (o diagrama cromático) es el resultado de una ecuación matemática y muestra los colores puros en la periferia, es decir, la radiación monocromática correspondiente a los colores del espectro (los colores del arco iris), indicada por su longitud de onda. La cromaticidad se puede representar como se observa en la figura 12.

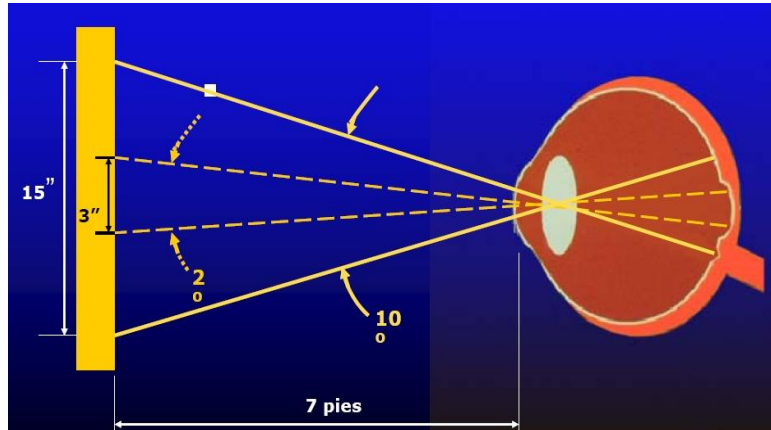
Figura 12. Diagrama de cromaticidad en el modelo CIE XYZ (1931).



Fuente: David Méndez Estébanez y otros, Coordenadas del color, página 1.

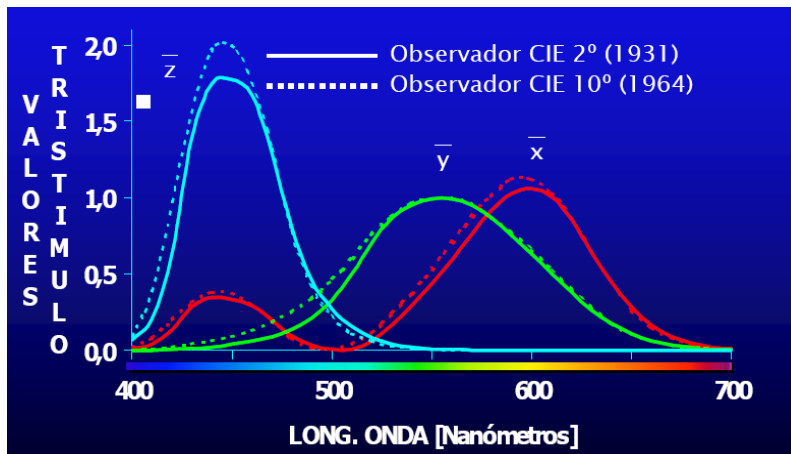
Cuando se realizaron los experimentos en 1931 del observador patrón, se pensó que los conos se concentraban en la región foveal. Posteriormente se supo que los conos se extendían más allá de esa región. Se volvieron a repetir en 1964, resultando de ellos el observador patrón 1964 CIE 10°

Figura 13. Observador CIE 1931 2° y CIE 1964 10°.



Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color, página 35.

Figura 14. Tres estímulos en función de la longitud de onda y del tipo de observador CIE.



Fuente: Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color, página 36.

1.8.4 Modelo CIE $L^*a^*b^*$ (1976)

El sistema colorimétrico XYZ permite representar colores según su cromatismo (ejes x y y) y su luminancia (eje Y). La gama de un dispositivo de visualización por lo general se representa al trazar en el diagrama cromático un polígono que contenga todos los colores que el dispositivo sea capaz de producir. Sin embargo, este tipo de representación es puramente matemática y no tiene en cuenta factores fisiológicos, es decir, la percepción que tiene el ojo humano del color, que da como resultado un diagrama de cromatismo que deja demasiado espacio para la gama de los verdes. Es decir, el sistema XYZ y los diagramas de cromaticidad asociados no son perceptualmente uniformes. Este problema dificulta el cálculo de las diferencias entre dos estímulos de color.

La necesidad de un espacio de color uniforme condujo a la transformación de una serie de transformaciones no lineales del espacio CIE XYZ 1931 que concluyeron en la especificación concreta de una de estas transformaciones en lo que se conoce como espacio de color CIE 1976 ($L^*a^*b^*$).

En 1960, la CIE desarrolló el modelo Luv . Finalmente, en 1976, para superar los problemas del modelo XYZ , la CIE desarrolló el modelo colorimétrico Lab (también llamado $CIELab$). El espacio $CIELab$ permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional.

Los ejes de coordenadas son a y b , representan variación entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado, respectivamente con valores que van del -120 al +120. En a los valores negativos representan el verde y los positivos el rojo, en b los negativos representan el azul y los positivos el amarillo.

Aquellos casos donde $a=b=0$, son acromáticos; por eso el eje L representa la escala acromática de grises que va de blanco al negro.

Las proporciones de Lab se obtienen de los valores de tres estímulos de acuerdo con las siguientes transformaciones:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad \text{Ecuación No.8}$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \text{Ecuación No.9}$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \text{Ecuación No.10}$$

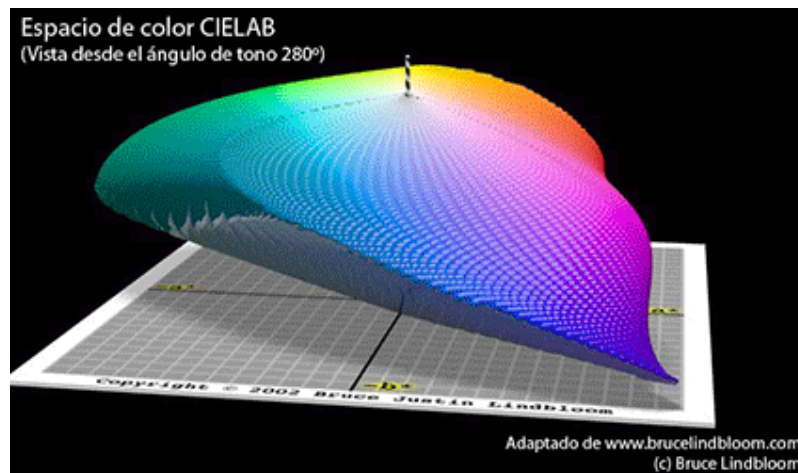
Donde X_n , Y_n , y Z_n son los respectivos valores de X , Y y Z con el iluminante que se haya usado para obtener los valores X , Y y Z de la muestra; y los cocientes de X/X_n , Y/Y_n y Z/Z_n son todos superiores a 0.008856 (cuando alguno de ellos es menor a esa cifra, se usa un conjunto de ecuaciones levemente distinto).

Por lo tanto, el modelo Lab abarca todo el espectro de visión del ojo humano y lo representa de manera uniforme. Esto hace posible medir todos los colores visibles independientemente de cualquier tecnología gráfica.

Incluye todos los colores RGB (rojo, verde, azul) y $CMKY$ (cian, magenta, amarillo, negro) y por ello que este modelo es muy utilizado en la industria para la medición de color. Los modelos CIE no son intuitivos, sin embargo, su utilización garantiza que sea posible medir un color creado por estos modelos de la misma manera.

La figura 15 es una representación del espacio de color *CIELab* rectangular, representa los valores del plano (a, b) con distintos valores de luminosidad.

Figura 15. Espacio del color *CIELab*.



Fuente: Lindbloom Bruce, Espacio de color *CIELab*.

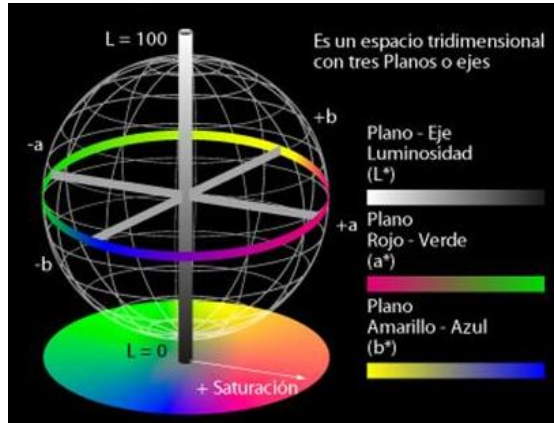
CIELCH es una representación polar del sistema de coordenadas rectangular *CIELab*, la saturación se representa por C y H es el matiz o tonalidad.

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación No.11}$$

$$H = \tan^{-1}(b/a) \quad \text{Ecuación No.12}$$

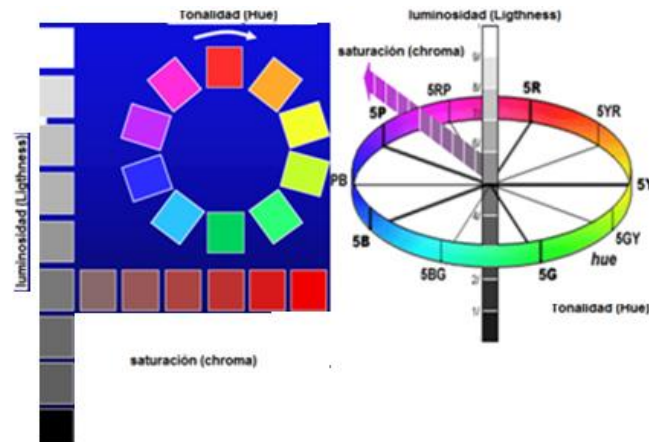
La figura 16 representa el espacio *CIELabCH*, la luminosidad es representada por el eje vertical, la saturación (C) se representa como una distancia del eje central. El matiz (H) es representado en dirección alrededor del elipsoide.

Figura 16. Espacio del color *CIELabCH*.



Fuente: David Méndez Estébanez y otros, *Coordenadas del color*, pág. 1.

Figura 17. Representación de luminosidad, matiz y saturación.



Fuente: Hunter Lab e Izasa, *Principios básicos de medida y percepción del color*, página 52.

1.8.5 Diferencia de color dE^*

El espacio de color *CIE 1976 (Lab)* proporciona una útil representación tridimensional de los estímulos perceptuales del color. Si dos puntos en el espacio (que representan dos estímulos), son coincidentes, entonces la diferencia cromática entre ambos estímulos es igual a cero. Según se incrementa la distancia entre esos dos puntos (L^*_1, a^*_1, b^*_1 y L^*_2, a^*_2, b^*_2), es razonable suponer que va aumentando la percepción de que existe una diferencia cromática entre los estímulos que ambos puntos representan. Una forma de medir la diferencia cromática entre dos estímulos es medir la distancia euclidiana llamada dE^* , existente entre dos puntos en un espacio tres dimensiones. Esta distancia se puede calcular así:

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}} \quad \text{Ecuación No.13}$$

La diferencia de color también se puede establecer en términos de diferencia de luminosidad, croma. La diferencia de tono dH^* es una diferencia angular, por esta razón no es posible usar la una directamente en combinación con las otras. Sin embargo, podemos tomar en consideración otra cantidad, dH^* la llamada diferencia de tono (que no se debe confundir con la diferencia de ángulo de tono dh^*) y que se obtiene a partir de la fórmula:

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2}} \quad \text{Ecuación No.14}$$

$$dH^* = \sqrt{da^{*2} + db^{*2} + dC^{*2}} \quad \text{Ecuación No.15}$$

Se realizó una regresión matemática que relaciona las coordenadas de color L^* , a^* y b^* con el porcentaje de sólidos totales.

1.9 Regresión múltiple

Una regresión es un procedimiento mediante el cual se trata de determinar si existe o no relación de dependencia entre dos o más variables. Es decir, conociendo los valores de una variable independiente, se trata de estimar los valores, de una o más variables dependientes. La regresión en forma gráfica, trata de lograr que una dispersión de las frecuencias sea ajustada a una línea recta o curva.

$$Y_{(X_1 \dots X_n)} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots \dots + \beta_n X_n$$

Ecuación No.16

Donde:

Y variable dependiente

X variable

n total de variables independientes

1.9.1 Selección de variables explicativas en la regresión

Al ajustar el modelo más adecuado para explicar la variabilidad de una característica cuantitativa del llamado modelo teórico, se selecciona un subconjunto suficiente explicativo del conjunto de todas las variables candidatas a ser explicativas de la variable dependiente. Se pueden utilizar los siguientes métodos.

1.9.1.1 Método de eliminación hacia atrás

Se comienza por considerar incluidas en el método teórico a todas las variables disponibles y se van eliminando del modelo de una en una según su capacidad explicativa. La primera variable que se elimina es aquella que presenta un menor coeficiente de correlación parcial con la variable dependiente y así sucesivamente hasta que la eliminación de una variable más suponga un descenso demasiado acusado en el coeficiente de determinación.

1.9.1.2 Método de eliminación hacia adelante

Se comienza por un modelo que no contiene ninguna variable explicativa y se añade como primera de ellas a la que presente un mayor coeficiente de correlación en valor absoluto con la variable dependiente. En los pasos sucesivos se va incorporando al modelo aquella variable que presenta un mayor coeficiente de correlación parcial con la variable dependiente.

1.9.1.3 Método de “stepwise”

Es una combinación de los dos anteriores. En el primer paso se procede como en el método de eliminación hacia adelante pero a diferencia de éste en el que cuando una variable entra en el modelo ya no vuelve a salir, es posible que la inclusión de una nueva variable haga que otra que ya estaba en el modelo resulte redundante y sea “expulsada” de él.

1.10 Análisis de varianza

También conocido como ANOVA, el análisis de varianza se basa en una comparación de la cantidad de variación en cada uno de los tratamientos. Para tres factores, el modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{jk} + (\alpha\gamma)_{jk} + (\beta\gamma)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{jkl} + (\varepsilon)_{jkl}$$

Ecuación No.17

Donde:

Y_{ijk} = porcentaje de sólidos, coordenadas de color *CIELab*.

μ = Efecto de la media general.

α_j = Efecto del *j*-ésimo tipo de adsorbente.

β_k = Efecto del *k*-ésimo dosificación (g/L).

γ_l = Efecto del *l*-ésimo tiempo de agitación (h).

$(\alpha\beta)_{jk}$ = Efecto de *jk*-ésima interacción entre ambos factores.

$(\alpha\gamma)_{jk}$ = Efecto de *jk*-ésima interacción entre ambos factores.

$(\beta\gamma)_{kl}$ = Efecto de *kl*-ésima interacción entre ambos factores.

$(\alpha\beta\gamma)_{jkl}$ = Efecto de *kl*-ésima interacción entre ambos factores.

$(\varepsilon)_{jkl}$ = Factor del error experimental asociado en la *jkl*-ésima unidad experimental.

El análisis de varianza de los datos se realizó utilizando el programa *SPSS Statics 17.0*. Utilizando 95% de confiabilidad.

Factor A= Tipo de adsorbente.

Factor B= Dosificación g/L

Factor C= Tiempo de agitación.

Figura 18. ANOVA de tres factores.

| Source of Variation | SS | df | MS | F |
|------------------------|-------|-----------------|-------------------------|-----------|
| Main effects | | | | |
| Factor A | SSA | (a-1) | SSA/df _a | MSA/MSW |
| Factor B | SSB | (b-1) | SSB/df _b | MSB/MSW |
| Factor C | SSC | (c-1) | SSC/df _c | MSC/MSW |
| Two-way Interactions | | | | |
| A * B interaction | SSAB | (a-1)(b-1) | SSAB/df _{ab} | MSAB/MSW |
| A * C interaction | SSAC | (a-1)(c-1) | SSAC/df _{ac} | MSAC/MSW |
| B * C interaction | SSBC | (b-1)(c-1) | SSBC/df _{bc} | MSBC/MSW |
| Three-way Interactions | | | | |
| A * B * C interaction | SSABC | (a-1)(b-1)(c-1) | SSABC/df _{abc} | MSABC/MSW |
| Model | SSBet | abc-1 | SSB/df _{bet} | |
| Within | SSW | N-abc | SSW/df _w | |
| Total | SST | N-1 | | |

Fuente: Karpinski, Factorial Anova, pág. 8-14.

F_t es el valor determinado en tablas, este valor nos sirve para diagnosticar el rechazo o aprobación de la hipótesis, relacionando con el valor de F_c , determinado en el análisis de varianza.

Si $F_c \geq F_t$ se rechaza la hipótesis nula (si existen diferencias significativas).

Si $F_c < F_t$ no se rechaza la hipótesis nula.

Si la diferencia entre F_c y F_t es positiva se analizará de la siguiente manera:

$\log(F_c - F_t) < 0$ = diferencia poco significativa.

$0 < \log(F_c - F_t) < 1$ = diferencia significativa baja.

$1 < \log(F_c - F_t) < 10$ = diferencia significativa notable.

$10 < \log(F_c - F_t) < 100$ = diferencia significativa extraordinaria.

El programa *SPSS Statics 17.0*, tabula una columna de nivel de significación que permite aceptar o rechazar la hipótesis nula sin necesidad de comparar el valor de F con su valor real de las tablas estadísticas.

Significación > 0.05 no se rechaza la hipótesis nula.

Significación < 0.05 Rechazo de la hipótesis nula.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Variables

2.1.1 Variables independientes.

- 2.1.1.1 Porcentaje de sólidos totales del disolvente usado.
- 2.1.1.2 Coordenadas de color L^* , a^* y b^* del disolvente usado.
- 2.1.1.3 Coordenadas de color L^* , a^* y b^* del disolvente puro.
- 2.1.1.4 Temperatura.
- 2.1.1.5 Tipo de adsorbente.
- 2.1.1.6 Dosificación de adsorbente.
- 2.1.1.7 Tiempos de adsorción.

2.1.2 Variables dependientes

- 2.1.2.1 Diferencia de color (dE^*) de las muestras tratadas, utilizando como referencia la mezcla de 70% acetato de etilo y 30% alcohol etílico.
- 2.1.2.2 Coordenadas de color L^* , a^* , b^* , C^* , H^* en función del contenido de sólidos.

2.2 Delimitación del campo de estudio.

2.2.1 Materia prima

La mezcla de tinta y disolvente se tomo de la salida del proceso de limpieza de los dispersores y equipo auxiliar de una empresa productora de tintas. La mezcla antes del tratamiento tenía 1.13% de sólidos totales.

La mezcla se trató con tres adsorbentes disponibles dentro del mercado guatemalteco, utilizados para la decoloración.

2.2.2 Modelo matemático

Se desarrolló un modelo matemático que determina el porcentaje de sólidos en función de las coordenadas de color *Lab*. Se descartaron las variables no significativas, tomando como parámetro un coeficiente de correlación mayor de 98%. Este polinomio sólo se puede utilizar específicamente para la muestra estudiada, por la influencia de las propiedades de las bases de la tinta en las coordenadas de color, no se puede generalizar pero si se puede determinar el de una muestra de tintas con diferentes compuestos realizando una calibración como la establecida en este documento.

2.2.3 Tratamientos con variables factoriales

Tabla I. Diseño factorial de tratamientos.

| Tipo de adsorbente | Dosificación (g/L) | Tiempo (h) | Repeticiones | | |
|---------------------|--------------------|------------|--------------|------------|------------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Adsorbente Tipo I | 18 | 1 | $Y_{1,1}$ | $Y_{1,2}$ | $Y_{1,3}$ |
| | | 2 | $Y_{2,1}$ | $Y_{2,2}$ | $Y_{2,3}$ |
| | | 3 | $Y_{3,1}$ | $Y_{3,2}$ | $Y_{3,3}$ |
| | | 4 | $Y_{4,1}$ | $Y_{4,2}$ | $Y_{4,3}$ |
| | | 5 | $Y_{5,1}$ | $Y_{5,2}$ | $Y_{5,3}$ |
| | 36 | 1 | $Y_{6,1}$ | $Y_{6,2}$ | $Y_{6,3}$ |
| | | 2 | $Y_{7,1}$ | $Y_{7,2}$ | $Y_{7,3}$ |
| | | 3 | $Y_{8,1}$ | $Y_{8,2}$ | $Y_{8,3}$ |
| | | 4 | $Y_{9,1}$ | $Y_{9,2}$ | $Y_{9,3}$ |
| | | 5 | $Y_{10,1}$ | $Y_{10,2}$ | $Y_{10,3}$ |
| Adsorbente Tipo II | 18 | 1 | $Y_{11,1}$ | $Y_{11,2}$ | $Y_{11,3}$ |
| | | 2 | $Y_{12,1}$ | $Y_{12,2}$ | $Y_{12,3}$ |
| | | 3 | $Y_{13,1}$ | $Y_{13,2}$ | $Y_{13,3}$ |
| | | 4 | $Y_{14,1}$ | $Y_{14,2}$ | $Y_{14,3}$ |
| | | 5 | $Y_{15,1}$ | $Y_{15,2}$ | $Y_{15,3}$ |
| | 36 | 1 | $Y_{16,1}$ | $Y_{16,2}$ | $Y_{16,3}$ |
| | | 2 | $Y_{17,1}$ | $Y_{17,2}$ | $Y_{17,3}$ |
| | | 3 | $Y_{18,1}$ | $Y_{18,2}$ | $Y_{18,3}$ |
| | | 4 | $Y_{19,1}$ | $Y_{19,2}$ | $Y_{19,3}$ |
| | | 5 | $Y_{20,1}$ | $Y_{20,2}$ | $Y_{20,3}$ |
| Adsorbente Tipo III | 18 | 1 | $Y_{21,1}$ | $Y_{21,2}$ | $Y_{21,3}$ |
| | | 2 | $Y_{22,1}$ | $Y_{22,2}$ | $Y_{22,3}$ |
| | | 3 | $Y_{23,1}$ | $Y_{23,2}$ | $Y_{23,3}$ |
| | | 4 | $Y_{24,1}$ | $Y_{24,2}$ | $Y_{24,3}$ |
| | | 5 | $Y_{25,1}$ | $Y_{25,2}$ | $Y_{25,3}$ |
| | 36 | 1 | $Y_{26,1}$ | $Y_{26,2}$ | $Y_{26,3}$ |
| | | 2 | $Y_{27,1}$ | $Y_{27,2}$ | $Y_{27,3}$ |
| | | 3 | $Y_{28,1}$ | $Y_{28,2}$ | $Y_{28,3}$ |
| | | 4 | $Y_{29,1}$ | $Y_{29,2}$ | $Y_{29,3}$ |
| | | 5 | $Y_{30,1}$ | $Y_{30,2}$ | $Y_{30,3}$ |

Fuente: Elaboración Propia

2.2.4 Adsorción

Se realizó por agitación con los siguientes parámetros:

1. Temperatura a 25°C
2. Presión 640 mmHg.
3. Tipo de aspas de dos paletas
4. Velocidad de agitación 100RPM

2.2.5 Parámetros de aceptabilidad

1. Porcentaje de reducción de sólidos mayor de 90%
2. Diferencia de color menor de tres.
3. Análisis de varianza de confiabilidad del 95%

2.3 Recursos humanos

- Directora E.P.S: Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
- Director EIQ: Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía Ms.C
- Asesor Supervisor Docente EPS: Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
- Asesor Técnico: Ing. Luis Humberto Orozco Girón. Ms.C
- Asesor/Revisor: Ing. César Alfonso García Guerra.
- Coordinadora Área de Calidad, Investigación y Vinculación: Inga. Lisely de León Ms.C
- Investigadora: Br. Marlene Susana Arrechea Alvarado

2.4 Recursos físicos

2.4.1 Localización

- Toma de muestra
Planta de producción Siegwerk Centroamérica S.A.
- Tratamiento de adsorción
Laboratorio unificado de Química del agua y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Empresa Municipal de Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
Laboratorio de aguas del Instituto de Fomento Municipal –INFOM-
- Medición con espectrofotómetro
Laboratorio de Calidad Siegwerk Centroamérica S.A.
- Medición con refractómetro
Laboratorio de Extracciones Vegetales del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.4.2 Cristalería:

Embudos de vidrio

Vasos de precipitados de 1000ml

Probetas de 100ml

Pipetas serológicas de 10ml

Balones de 100 ml.

Cristalería tipo “A”

2.4.3 Equipo

Tabla II. Equipo a utilizar en la metodología.

| Equipo | Descripción | Marca | Modelo | Dimensiones |
|------------------------|--|----------------------------------|------------------------------|--|
| Balanza analítica | Resolución de 0.0001gramos. Rango 0-220g gramos 110V | Sartorius | Cp 2245 | 22.5Cm ² |
| Espectrofotómetro | Software: Color Quality Basic V. 5.0 | Gretag Macbeth | Spectro Eye | Longitud: 24.5cm, profundidad: 8.3cm, alto:8cm. Peso 990g |
| Cama de arrastre | | | | 25x15 cm |
| Barra de arrastre | Roja No.1 | | | |
| Refractómetro | Rango de temperatura de 0 a 70°C. Precisión .0002. Medición de 1.3000-1.7000 | Abbe | 32200 | |
| Equipo de Agitación | Agitador de seis aspas | Phips&Bird Richmond Va USA | 77909018 Serie 2012095 | |

Fuente: Elaboración Propia

2.4.4 Reactivos

Tabla III. Reactivos, especificación y cantidad a utilizar en la metodología.

| Tipo | Especificación | Cantidad |
|------------|------------------|----------|
| Adsorbente | Tipo I | 1kg |
| Adsorbente | Tipo II | 1kg |
| Adsorbente | Tipo III | 1kg |
| Solvente | Acetato de etilo | 1L |
| Solvente | Alcohol Etílico | 1L |

Fuente: Elaboración Propia

2.4.5 Recursos financieros disponibles

Tabla IV. Recursos financieros.

| Descripción | Costo (Q) | Observación |
|------------------------------------|-----------|---|
| Papel (2 resmas) | 89.80 | |
| Fotocopias (100) | 15.00 | |
| Tinta para impresora | 125.00 | |
| Papel filtro tipo whatman 1 | 150.00 | Donación Laboratorio de aguas del Instituto de Fomento Municipal –INFOM- |
| Adsorbentes | 77.12 | Donación de la empresa QUIRSERTEC S.A |
| Mediciones de Índice de Refracción | 10,800.00 | Donación, laboratorio de Extracciones Vegetales del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. |
| Equipo de agitación | 2,250.00 | Donación Laboratorio unificado de Química del agua y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Empresa Municipal de Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. |
| Frascos | 450.00 | |
| Solventes | 23.00 | Donación Slegwerk Centroamérica S.A |
| TOTAL | 13,979.92 | |

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Técnicas Cuantitativas

2.5.1 Diferencia de L^* (dL)

$$dL = L^* - L$$

Ecuación No.19

Donde:

dL = Diferencia de luminosidad

L^* = Valor de la muestra medido con el espectrofotómetro.

L = Valor de referencia medido con el espectrofotómetro.

2.5.2 Diferencia de a^* (da)

$$da = a^* - a$$

Ecuación No.20

Donde:

da = Diferencia de a^*

a^* = Valor de la muestra medido con el espectrofotómetro.

a = Valor de referencia medido con el espectrofotómetro.

2.5.3 Diferencia de b^* (db)

$$db = b^* - b$$

Ecuación No.21

Donde:

$db =$ Diferencia de b^*

$b^* =$ Valor de la muestra medido con el espectrofotómetro.

$b =$ Valor de referencia medido con el espectrofotómetro.

2.5.4 Saturación C^*

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Ecuación No.22

Donde:

$C =$ Saturación

$a^* =$ Valor medido con el espectrofotómetro

$b^* =$ Valor medido con el espectrofotómetro

2.5.5 Tonalidad o matiz H^*

$$H = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

Ecuación No.23

Donde:

H = tonalidad

a^* = Valor medido con el espectrofotómetro

b^* = Valor medido con el espectrofotómetro

2.5.6 Diferencia de C^* (dC)

$$dC = C^* - C$$

Ecuación No.24

Donde:

dC = Diferencia de b^*

C^* = Valor de la muestra medido con el espectrofotómetro.

C = Valor de referencia medido con el espectrofotómetro.

2.5.7 Diferencia de H^* (dH)

$$dH = \sqrt{da^2 + db^2 - dC^2}$$

Ecuación No.25

Donde:

dH = diferencia de Tonalidad

da = diferencia de a

db = diferencia de b

dC = diferencia de C

2.5.8 Diferencia de color (dE^*)

$$dE^* = \sqrt{dL^2 + da^2 + db^2}$$

Ecuación No.26

Donde:

dE = diferencia de color

dL = diferencia de luminosidad

da = diferencia de a

db = diferencia de b

2.5.9 Modelo matemático de porcentaje de sólidos en función de coordenadas de color.

Se realizó una curva de calibración que relaciona las coordenadas de color y el porcentaje de sólidos.

$$\begin{aligned} \mu_{Y(X_1, X_2, X_3)} = & \beta_{000} + \beta_{100}X_1 + \beta_{010}X_2 + \beta_{001}X_3 + \beta_{110}X_1X_2 + \beta_{101}X_1X_3 \\ & + \beta_{011}X_2X_3 + \beta_{200}X_1^2 + \beta_{020}X_2^2 + \beta_{002}X_3^2 + \beta_{210}X_1^2X_2 \\ & + \beta_{201}X_1^2X_3 + \beta_{021}X_2^2X_3 + \beta_{120}X_2^2X_1 + \beta_{102}X_3^2X_1 \\ & + \beta_{012}X_3^2X_2 + \beta_{300}X_1^3 + \beta_{030}X_2^3 + \beta_{003}X_3^3 + \beta_{111}X_1X_2X_3 \end{aligned}$$

Ecuación No.27

Donde:

$\mu_{Y(X_1, X_2, X_3)}$ = Variable de respuesta a relacionar (porcentaje de sólidos).

β_k = Coeficiente del modelo de regresión múltiple.

X_1 = Coordenada L* de color.

X_2 = Coordenada a* de color.

X_3 = Coordenada b* de color.

Simplificando se obtiene el siguiente modelo lineal:

$$\begin{aligned} \mu_{Y(X_1, X_2, X_3)} = & \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_4 + \beta_5X_5 + \beta_6X_6 + \beta_7X_7 \\ & + \beta_8X_8 + \beta_9X_9 + \beta_{10}X_{10} + \beta_{11}X_{11} + \beta_{12}X_{12} + \beta_{13}X_{13} \\ & + \beta_{14}X_{14} + \beta_{15}X_{15} + \beta_{16}X_{16} + \beta_{17}X_{17} + \beta_{18}X_{18} + \beta_{19}X_{19} \end{aligned}$$

Ecuación No.28

Para diferentes observaciones se define la siguiente matriz:

$$X'\beta = X'y$$

Ecuación No.29

n= número de observaciones por cada efecto $X_{k,n}$

En este caso se evaluarán 10.

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_9 \\ y_{10} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{2,1} & X_{3,1} & X_{4,1} & \dots & X_{19,1} \\ X_{1,2} & X_{2,2} & X_{3,2} & X_{4,2} & \dots & X_{19,2} \\ X_{1,3} & X_{2,3} & X_{3,3} & X_{4,3} & \dots & X_{19,3} \\ X_{1,4} & X_{2,4} & X_{3,4} & X_{4,4} & \dots & X_{19,4} \\ X_{1,5} & X_{2,5} & X_{3,5} & X_{4,5} & \dots & X_{19,5} \\ X_{1,6} & X_{2,6} & X_{3,6} & X_{4,6} & \dots & X_{19,6} \\ X_{1,7} & X_{2,7} & X_{3,7} & X_{4,7} & \dots & X_{19,7} \\ X_{1,8} & X_{2,8} & X_{3,8} & X_{4,8} & \dots & X_{19,8} \\ X_{1,9} & X_{2,9} & X_{3,9} & X_{4,9} & \dots & X_{19,9} \\ X_{1,10} & X_{2,10} & X_{3,10} & X_{4,10} & \dots & X_{19,10} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \\ \beta_7 \\ \beta_8 \\ \beta_9 \\ \beta_{10} \end{bmatrix}$$

Con la matriz anterior se procede a seleccionar todas las variables $X_{k,n}$, estas deben ser explicativas para la variable dependiente, la selección del subconjunto de variables explicativas del modelo de regresión se realiza con un método de procedimiento stepwise del programa *SPSS Statics 17.0*

2.5.10 Porcentaje de reducción relativa de sólidos

$$\%R = \frac{\%Si - \%St}{\%St} * 100$$

Ecuación No.30

Donde:

- $\%R$ = Porcentaje de reducción de sólidos.
- $\%Si$ = Porcentaje de sólidos iniciales.
- $\%St$ = Porcentaje de sólidos tratados

2.6 Recolección y ordenamiento de la información

2.6.1 Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento de adsorbente, dosificación y tiempo de agitación de menor diferencia de color, utilizando como referencia la mezcla de solventes (acetato de etilo y alcohol etílico).

1. Se agregó 900ml de la mezcla de tinta y disolvente en un vaso de precipitados de 1000ml.
2. Se midió el porcentaje de sólidos del disolvente y la tinta.
3. Se agregó a la mezcla de tinta y disolvente una dosificación de adsorbente tipo I de 18g/L.
4. Se colocó el vaso de precipitados en el equipo de agitación, se graduó a 100 rpm, durante 1 hora.
5. Al finalizar la agitación se dejó reposar durante 24 horas.
6. Se filtró la solución con papel filtro *whatman* tipo 1.
7. Se realizó un arrastre de la muestra tratada con la barra roja, utilizando como sustrato papel filtro.
8. Se midió con el espectrofotómetro las coordenadas de color L^* , a^* y b^* del arrastre.
9. Se repitió el proceso desde el paso 1 al 8 variando el tiempo de agitación de 1, 2, 3, 4 y 5 horas.
10. Se repitió el proceso del paso 1 al 9 variando la dosificación del paso 3 a 36g/L.
11. Se repitió el proceso del paso 1 al 10 utilizando el adsorbente tipo II.
12. Se repitió el proceso del paso 1 al 10 utilizando el adsorbente tipo III.

13. Se realizó un arrastre de la mezcla de solventes (acetato de etilo y alcohol etílico).
14. Se midió con el espectrofotómetro las coordenadas de color L^* , a^* y b^* del arrastre de la mezcla de solventes.
15. Se midió con el espectrofotómetro las coordenadas de color L^* , a^* y b^* del papel filtro.

2.6.2 Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento que minimiza en mayor cantidad el porcentaje de sólidos en el disolvente recuperado.

1. Se prepararon diez mezclas de tinta y disolvente a diferente porcentaje de sólidos (mezclas del 0.1% de sólidos hasta 1.1%).
2. Se realizó un arrastre de las mezclas anteriores.
3. Se midió las coordenadas de color de las coordenadas L^* , a^* y b^* de los arrastres anteriores.

2.6.3 Pruebas para determinar el adsorbente con mayor cantidad de ciclos de reutilización.

1. Se agregó 900ml de la mezcla de tinta y disolvente en un vaso de precipitados de 1000ml.
2. Se realizó el tratamiento (tipo, dosificación y tiempo) que cumple con el rango máximo de diferencia de color establecido por la empresa de tintas, valor igual a tres.

3. Se midieron las coordenadas L^* , a^* , b^* y el porcentaje de sólidos, (primer ciclo).
4. Se realizó el mismo tratamiento utilizando la misma muestra de adsorbente filtrado en el ciclo anterior.
5. Se midieron las coordenadas L^* , a^* , b^* y el porcentaje de sólidos, esto corresponde al segundo ciclo.
6. Se determinó la diferencia de color de cada muestra a diferentes ciclos.
7. Si la diferencia de color tomando como referencia la mezcla de solventes (acetato de etilo y alcohol etílico), no estaba dentro del rango aceptable, valor igual a tres, se procede al siguiente paso.
8. Se prepararon mezclas desde 90% de disolvente recuperado y 10% de disolvente virgen y se aumento en cada muestra 10% del disolvente virgen.

2.7 Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

2.7.1 Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento de adsorbente, dosificación y tiempo de agitación de menor diferencia de color, utilizando como referencia la mezcla de disolventes (acetato de etilo y alcohol etílico).

- 1 Se determinó la diferencia de color de cada tratamiento.
- 2 Se graficó las coordenadas de color L^* , a^* y b^* de los tratamientos con adsorbente en función del tiempo.
- 3 Se graficó la diferencia de color de los tratamientos utilizando como referencia el arrastre de la mezcla de disolventes.
- 4 Se identificó por medio de los incisos anteriores los tratamientos que cumplen con el rango de diferencia de color (dE^*) aceptable menor de tres.

2.7.2 Pruebas a pequeña escala para determinar el tratamiento que minimiza en mayor cantidad el porcentaje de sólidos en el disolvente recuperado.

- 1 Se determinó una regresión múltiple para relacionar porcentaje de sólidos en función del valor de L^* , a^* y b^* . Utilizando el programa *SPSS Statics 17.0*, con el método “*stepwise*” para eliminar los efectos no significativos.
- 2 Se ejecutó el programa *SPSS Statics 17.0*.

- Se ingresaron las variables independientes: L , a , b , La , Lb , ab , L^2 , a^2 , b^2 , La^2 , Lb^2 , aL^2 , bL^2 , ba^2 , ab^2 , a^3 , b^3 , L^3 , Lab y por último la variable respuesta, de porcentaje de sólidos.

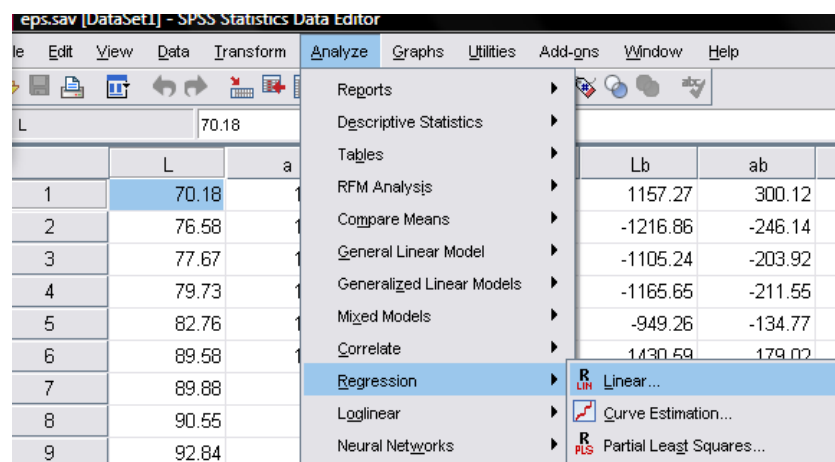
Figura 19. Ventana de ingreso de variables dependientes e independientes.

| | L | a | b | La | Lb | ab | Lab |
|----|-------|-------|--------|---------|----------|---------|-----------|
| 1 | 70.18 | 18.20 | -16.49 | 1277.28 | 1157.27 | 300.12 | 21062.28 |
| 2 | 76.58 | 15.49 | -15.89 | 1186.22 | -1216.86 | -246.14 | -18849.10 |
| 3 | 77.67 | 14.33 | -14.23 | 1113.01 | -1105.24 | -203.92 | -15838.15 |
| 4 | 79.73 | 14.47 | -14.62 | 1153.69 | -1165.65 | -211.55 | -16866.99 |
| 5 | 82.76 | 11.75 | -11.47 | 972.43 | -949.26 | -134.77 | -11153.77 |
| 6 | 89.58 | 11.21 | -15.97 | 1004.19 | 1430.59 | 179.02 | 16036.94 |
| 7 | 89.88 | 8.83 | -8.40 | 793.64 | -754.99 | -74.17 | -6666.58 |
| 8 | 90.55 | 7.59 | -6.16 | 687.27 | -557.79 | -46.75 | -4233.61 |
| 9 | 92.84 | 5.04 | -3.38 | 467.91 | -313.80 | -17.04 | -1581.55 |
| 10 | 95.39 | 4.81 | -4.52 | 458.83 | -431.16 | -21.74 | -2073.89 |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

- Se ingresó a la opción del menú analizar, regresión, lineal.

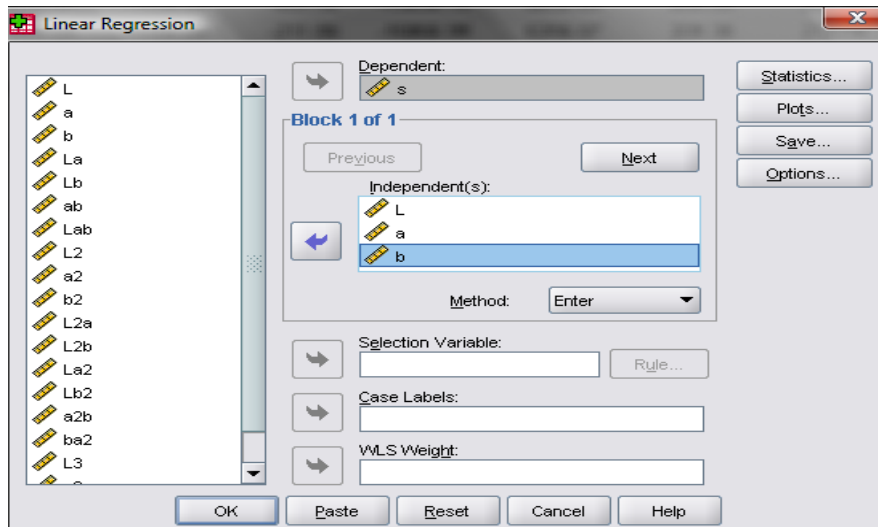
Figura 20. Selección de regresión lineal.



Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

- 5 Se ingresó la variable dependiente y las variables independientes.

Figura 21. Ventana de selección de tipo de variables.



Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

- 6 Se seleccionó el método “*stepwise*”.
- 7 Se abrió una ventana automáticamente con los datos de la regresión y las variables significativas.
- 8 Se determinó el porcentaje de sólidos de cada tratamiento, por medio de la ecuación del inciso anterior.
- 9 Se graficó el porcentaje de sólidos en función del tiempo para los tres tipos de adsorbentes a dos dosificaciones.
- 10 Se determinó y graficó el porcentaje de reducción de sólidos relativo de cada tratamiento.
- 11 Se Identificó por medio de los incisos anteriores las muestras que cumplen con el rango.

2.7.3 Pruebas para determinar el adsorbente con mayor cantidad de ciclos de reutilización.

- 1 Se determinó la diferencia de color de cada muestra a diferentes ciclos.
- 2 Se midió la diferencia de color de las mezclas a diferentes ciclos desde 100% disolvente tratado con 0% de disolvente virgen y se aumento en 10% el disolvente virgen hasta que la diferencia de color de la mezcla estuvo dentro del rango aceptable.
- 3 Se determinó el número de ciclos que cumple con el rango de aceptabilidad de diferencia de color, porcentaje de reducción de sólidos y las mezclas con disolvente virgen para cada ciclo.

2.7.4 Elección de tratamiento de adsorbente, dosificación y tiempo.

Se realizó la elección en función de los siguientes parámetros:

- Diferencia de color dentro del rango aceptable (menor de 3).
- Porcentaje de reducción de sólidos, (mayor de 90%)
- Mayor cantidad de ciclos de reutilización antes de saturarse.

En base a los parámetros anteriores se propuso el tratamiento que cumple los parámetros anteriores.

2.8 Análisis estadístico

2.8.1 Promedio

$$X = \frac{(X1 + X2 + X3 \dots + Xn)^2}{n}$$

Ecuación No.13

Donde:

X = Valor promedio.

Xn = Valor observado.

n = Número total de datos observados.

Tabla V. Promedio de Coordenadas de color L*, a* y b*.

| Código | L* | a* | b* |
|----------|--------|-------|--------|
| ADS1.1.1 | 100.82 | 3.94 | -3.56 |
| ADS1.1.2 | 99.25 | 5.24 | -4.01 |
| ADS1.1.3 | 100.82 | 4.82 | -4.66 |
| ADS1.1.4 | 102.01 | 3.61 | -4.29 |
| ADS1.1.5 | 102.10 | 3.55 | -4.15 |
| ADS1.2.1 | 103.04 | 2.17 | -2.88 |
| ADS1.2.2 | 103.30 | 2.23 | -3.01 |
| ADS1.2.3 | 103.93 | 2.21 | -2.82 |
| ADS1.2.4 | 103.29 | 1.93 | -2.00 |
| ADS1.2.5 | 103.12 | 2.43 | -2.18 |
| ADS2.1.1 | 91.02 | 14.94 | -7.51 |
| ADS2.1.2 | 87.24 | 15.00 | -22.67 |
| ADS2.1.3 | 91.80 | 14.87 | -8.62 |
| ADS2.1.4 | 92.40 | 13.59 | -6.19 |
| ADS2.1.5 | 86.97 | 21.49 | -6.61 |
| ADS2.2.1 | 98.05 | 6.41 | -10.21 |
| ADS2.2.2 | 96.62 | 12.24 | -6.20 |
| ADS2.2.3 | 96.78 | 13.50 | -4.45 |
| ADS2.2.4 | 96.61 | 13.61 | -4.56 |
| ADS2.2.5 | 99.78 | 7.62 | -2.37 |
| ADS3.1.1 | 88.59 | 9.55 | 1.30 |
| ADS3.1.2 | 92.15 | 6.88 | 0.94 |
| ADS3.1.3 | 94.16 | 6.06 | -0.34 |
| ADS3.1.4 | 96.61 | 6.05 | -1.35 |
| ADS3.1.5 | 97.85 | 7.43 | -3.11 |
| ADS3.2.1 | 96.65 | 4.43 | 2.32 |
| ADS3.2.2 | 101.35 | 3.65 | -0.92 |
| ADS3.2.3 | 98.56 | 4.32 | 0.32 |
| ADS3.2.4 | 95.60 | 5.68 | -2.08 |
| ADS3.2.5 | 96.16 | 6.27 | -1.95 |

Fuente: Tabla XXXIV, XXXV y XXXVI

2.8.2 Desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} |Xi - X|^2}{n - 1}}$$

Ecuación No.14

Donde:

s = Desviación estándar

X = Valor de la media

Xi = Valor de cada observación

n = Número total de datos observados.

Tabla VI. Desviación estándar de coordenadas de color.

| Código | L* | a* | b* |
|----------|------|------|------|
| ADS1.1.1 | 0.19 | 0.34 | 0.11 |
| ADS1.1.2 | 0.47 | 0.10 | 0.39 |
| ADS1.1.3 | 0.37 | 0.15 | 0.29 |
| ADS1.1.4 | 0.32 | 0.09 | 0.20 |
| ADS1.1.5 | 0.28 | 0.02 | 0.15 |
| ADS1.2.1 | 0.50 | 0.03 | 0.17 |
| ADS1.2.2 | 0.37 | 0.02 | 0.11 |
| ADS1.2.3 | 0.24 | 0.08 | 0.06 |
| ADS1.2.4 | 0.26 | 0.27 | 0.27 |
| ADS1.2.5 | 0.10 | 0.03 | 0.38 |
| ADS2.1.1 | 1.07 | 1.17 | 0.66 |
| ADS2.1.2 | 0.53 | 0.90 | 0.44 |
| ADS2.1.3 | 0.33 | 0.45 | 0.25 |
| ADS2.1.4 | 0.07 | 0.27 | 0.53 |
| ADS2.1.5 | 0.03 | 0.48 | 0.44 |
| ADS2.2.1 | 0.42 | 0.86 | 0.07 |
| ADS2.2.2 | 0.23 | 0.49 | 0.35 |
| ADS2.2.3 | 0.59 | 0.71 | 0.34 |
| ADS2.2.4 | 0.64 | 0.83 | 0.13 |
| ADS2.2.5 | 0.30 | 0.70 | 0.17 |
| ADS3.1.1 | 1.96 | 0.65 | 0.37 |
| ADS3.1.2 | 0.82 | 0.15 | 0.49 |
| ADS3.1.3 | 0.21 | 0.08 | 0.08 |
| ADS3.1.4 | 0.31 | 0.19 | 0.08 |
| ADS3.1.5 | 0.33 | 0.24 | 0.15 |
| ADS3.2.1 | 0.18 | 0.10 | 0.13 |
| ADS3.2.2 | 0.28 | 0.18 | 0.34 |
| ADS3.2.3 | 0.59 | 0.18 | 0.24 |
| ADS3.2.4 | 0.96 | 0.23 | 0.25 |
| ADS3.2.5 | 0.07 | 0.15 | 0.27 |

Fuente: Tabla VII y ecuación 14.

Tabla VII. Desviación estándar de diferencia de coordenadas de color.

| Código | dL* | da* | db* | dE* |
|----------|------|------|------|------|
| ADS1.1.1 | 0.19 | 0.35 | 0.11 | 0.31 |
| ADS1.1.2 | 0.46 | 0.10 | 0.39 | 0.25 |
| ADS1.1.3 | 0.27 | 0.15 | 0.29 | 0.40 |
| ADS1.1.4 | 0.33 | 0.09 | 0.20 | 0.34 |
| ADS1.1.5 | 0.28 | 0.02 | 0.15 | 0.20 |
| ADS1.2.1 | 0.50 | 0.04 | 0.17 | 0.18 |
| ADS1.2.2 | 0.37 | 0.02 | 0.11 | 0.27 |
| ADS1.2.3 | 0.24 | 0.08 | 0.06 | 0.09 |
| ADS1.2.4 | 0.25 | 0.28 | 0.26 | 0.14 |
| ADS1.2.5 | 0.10 | 0.03 | 0.38 | 0.07 |
| ADS2.1.1 | 1.07 | 1.16 | 0.66 | 1.34 |
| ADS2.1.2 | 0.53 | 0.90 | 0.44 | 0.39 |
| ADS2.1.3 | 0.33 | 0.45 | 0.26 | 0.44 |
| ADS2.1.4 | 0.07 | 0.27 | 0.53 | 0.28 |
| ADS2.1.5 | 0.03 | 0.48 | 0.44 | 0.26 |
| ADS2.2.1 | 0.49 | 0.86 | 0.08 | 0.68 |
| ADS2.2.2 | 0.24 | 0.49 | 0.34 | 0.59 |
| ADS2.2.3 | 0.59 | 0.71 | 0.34 | 0.94 |
| ADS2.2.4 | 0.65 | 0.83 | 0.12 | 1.03 |
| ADS2.2.5 | 0.30 | 0.70 | 0.17 | 0.76 |
| ADS3.1.1 | 1.96 | 0.65 | 0.37 | 2.05 |
| ADS3.1.2 | 0.82 | 0.15 | 0.49 | 0.86 |
| ADS3.1.3 | 0.21 | 0.08 | 0.04 | 0.16 |
| ADS3.1.4 | 0.31 | 0.19 | 0.07 | 0.37 |
| ADS3.1.5 | 0.33 | 0.24 | 2.47 | 0.39 |
| ADS3.2.1 | 0.17 | 0.10 | 0.13 | 0.12 |
| ADS3.2.2 | 0.28 | 0.18 | 0.35 | 0.32 |
| ADS3.2.3 | 0.59 | 0.18 | 0.23 | 0.59 |
| ADS3.2.4 | 0.96 | 0.23 | 0.25 | 0.97 |
| ADS3.2.5 | 0.98 | 0.25 | 0.26 | 0.98 |

Fuente: Tabla XXXIV,XXXV,XXXVI,XXXIX y ecuación 14.

2.8.3 Varianza

$$\sigma = s^2$$

Ecuación No.15

Donde:

s =Desviación estándar

σ =Varianza

Tabla VIII. Varianza de coordenadas de color.

| Código | L* | a* | b* |
|----------|------|------|------|
| ADS1.1.1 | 0.04 | 0.12 | 0.01 |
| ADS1.1.2 | 0.22 | 0.01 | 0.15 |
| ADS1.1.3 | 0.14 | 0.02 | 0.08 |
| ADS1.1.4 | 0.11 | 0.01 | 0.04 |
| ADS1.1.5 | 0.08 | 0.00 | 0.02 |
| ADS1.2.1 | 0.25 | 0.00 | 0.03 |
| ADS1.2.2 | 0.14 | 0.00 | 0.01 |
| ADS1.2.3 | 0.06 | 0.01 | 0.00 |
| ADS1.2.4 | 0.07 | 0.08 | 0.07 |
| ADS1.2.5 | 0.01 | 0.00 | 0.14 |
| ADS2.1.1 | 1.15 | 1.36 | 0.43 |
| ADS2.1.2 | 0.29 | 0.80 | 0.19 |
| ADS2.1.3 | 0.11 | 0.20 | 0.06 |
| ADS2.1.4 | 0.01 | 0.07 | 0.28 |
| ADS2.1.5 | 0.00 | 0.23 | 0.20 |
| ADS2.2.1 | 0.18 | 0.74 | 0.00 |
| ADS2.2.2 | 0.05 | 0.24 | 0.12 |
| ADS2.2.3 | 0.35 | 0.50 | 0.12 |
| ADS2.2.4 | 0.41 | 0.69 | 0.02 |
| ADS2.2.5 | 0.09 | 0.49 | 0.03 |
| ADS3.1.1 | 3.84 | 0.43 | 0.14 |
| ADS3.1.2 | 0.68 | 0.02 | 0.24 |
| ADS3.1.3 | 0.05 | 0.01 | 0.01 |
| ADS3.1.4 | 0.10 | 0.04 | 0.01 |
| ADS3.1.5 | 0.11 | 0.06 | 0.02 |
| ADS3.2.1 | 0.03 | 0.01 | 0.02 |
| ADS3.2.2 | 0.08 | 0.03 | 0.12 |
| ADS3.2.3 | 0.35 | 0.03 | 0.06 |
| ADS3.2.4 | 0.93 | 0.05 | 0.06 |
| ADS3.2.5 | 0.00 | 0.02 | 0.07 |

Fuente: Tabla VIII y ecuación No.15.

Tabla IX. Varianza diferencia de coordenadas de color.

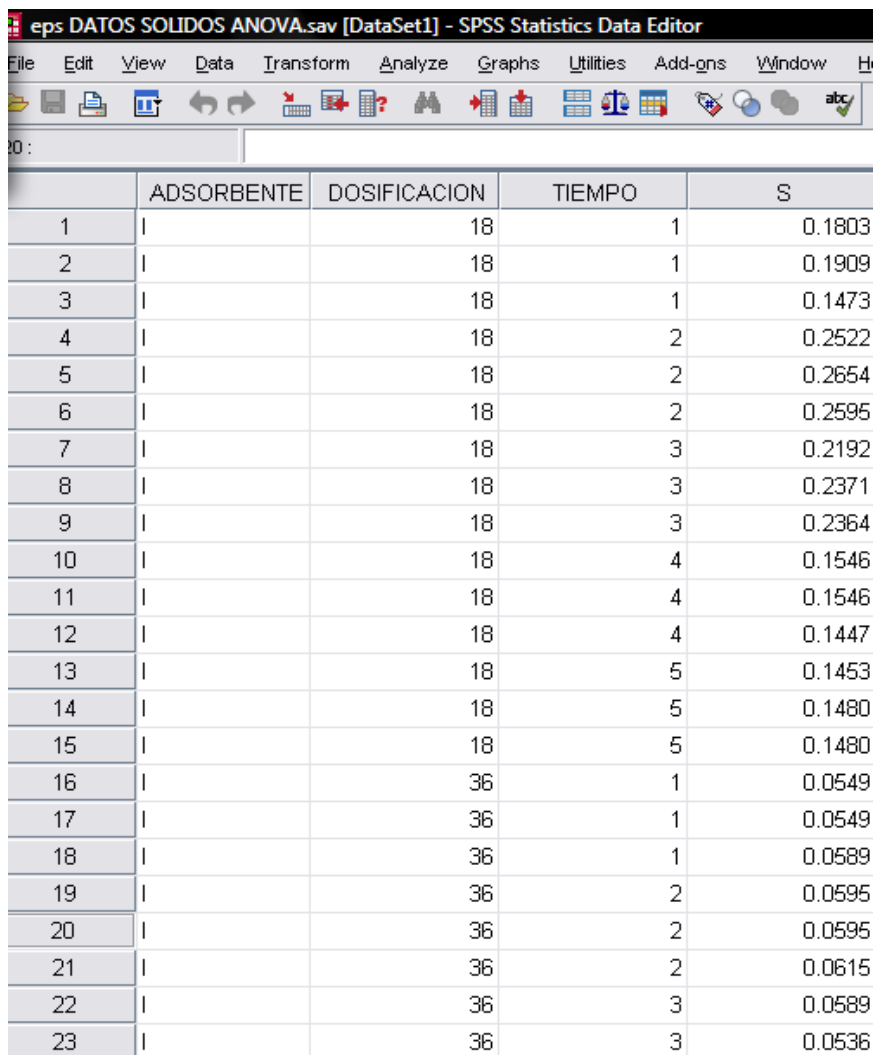
| Código | dL* | da* | db* | dE* |
|----------|------|------|------|------|
| ADS1.1.1 | 0.04 | 0.12 | 0.01 | 0.10 |
| ADS1.1.2 | 0.21 | 0.01 | 0.15 | 0.06 |
| ADS1.1.3 | 0.07 | 0.02 | 0.08 | 0.16 |
| ADS1.1.4 | 0.11 | 0.01 | 0.04 | 0.12 |
| ADS1.1.5 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.04 |
| ADS1.2.1 | 0.25 | 0.00 | 0.03 | 0.03 |
| ADS1.2.2 | 0.14 | 0.00 | 0.01 | 0.07 |
| ADS1.2.3 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| ADS1.2.4 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.02 |
| ADS1.2.5 | 0.01 | 0.00 | 0.15 | 0.01 |
| ADS2.1.1 | 1.15 | 1.36 | 0.43 | 1.79 |
| ADS2.1.2 | 0.29 | 0.80 | 0.19 | 0.15 |
| ADS2.1.3 | 0.11 | 0.20 | 0.07 | 0.19 |
| ADS2.1.4 | 0.01 | 0.07 | 0.28 | 0.08 |
| ADS2.1.5 | 0.00 | 0.23 | 0.20 | 0.07 |
| ADS2.2.1 | 0.24 | 0.74 | 0.01 | 0.46 |
| ADS2.2.2 | 0.06 | 0.24 | 0.12 | 0.35 |
| ADS2.2.3 | 0.35 | 0.50 | 0.11 | 0.89 |
| ADS2.2.4 | 0.42 | 0.69 | 0.01 | 1.06 |
| ADS2.2.5 | 0.09 | 0.49 | 0.03 | 0.57 |
| ADS3.1.1 | 3.84 | 0.43 | 0.14 | 4.20 |
| ADS3.1.2 | 0.68 | 0.02 | 0.24 | 0.75 |
| ADS3.1.3 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.03 |
| ADS3.1.4 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.13 |
| ADS3.1.5 | 0.11 | 0.06 | 6.12 | 0.15 |
| ADS3.2.1 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| ADS3.2.2 | 0.08 | 0.03 | 0.12 | 0.10 |
| ADS3.2.3 | 0.35 | 0.03 | 0.06 | 0.35 |
| ADS3.2.4 | 0.93 | 0.05 | 0.06 | 0.95 |
| ADS3.2.5 | 0.90 | 0.08 | 0.07 | 0.96 |

Fuente: Tabla X y ecuación No. 15.

2.8.4 Análisis de varianza

1. Se ejecutó el programa de computación *SPSS Statics 17.0*.
2. Se ingresó en cada columna el factor y por último la variable respuesta

Figura 22. Ventana de ingreso de variables para análisis de varianza.

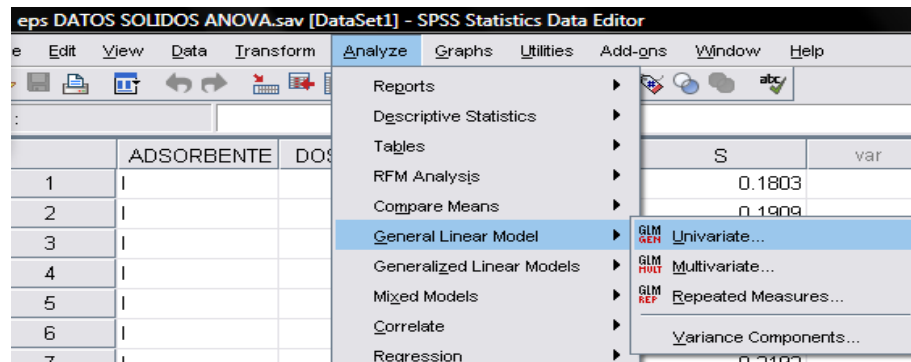


| | ADSORBENTE | DOSIFICACION | TIEMPO | S |
|----|------------|--------------|--------|--------|
| 1 | | 18 | 1 | 0.1803 |
| 2 | | 18 | 1 | 0.1909 |
| 3 | | 18 | 1 | 0.1473 |
| 4 | | 18 | 2 | 0.2522 |
| 5 | | 18 | 2 | 0.2654 |
| 6 | | 18 | 2 | 0.2595 |
| 7 | | 18 | 3 | 0.2192 |
| 8 | | 18 | 3 | 0.2371 |
| 9 | | 18 | 3 | 0.2364 |
| 10 | | 18 | 4 | 0.1546 |
| 11 | | 18 | 4 | 0.1546 |
| 12 | | 18 | 4 | 0.1447 |
| 13 | | 18 | 5 | 0.1453 |
| 14 | | 18 | 5 | 0.1480 |
| 15 | | 18 | 5 | 0.1480 |
| 16 | | 36 | 1 | 0.0549 |
| 17 | | 36 | 1 | 0.0549 |
| 18 | | 36 | 1 | 0.0589 |
| 19 | | 36 | 2 | 0.0595 |
| 20 | | 36 | 2 | 0.0595 |
| 21 | | 36 | 2 | 0.0615 |
| 22 | | 36 | 3 | 0.0589 |
| 23 | | 36 | 3 | 0.0536 |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

3. Se seleccionó en el menú general la opción analizar, modelo lineal general y de una variable.

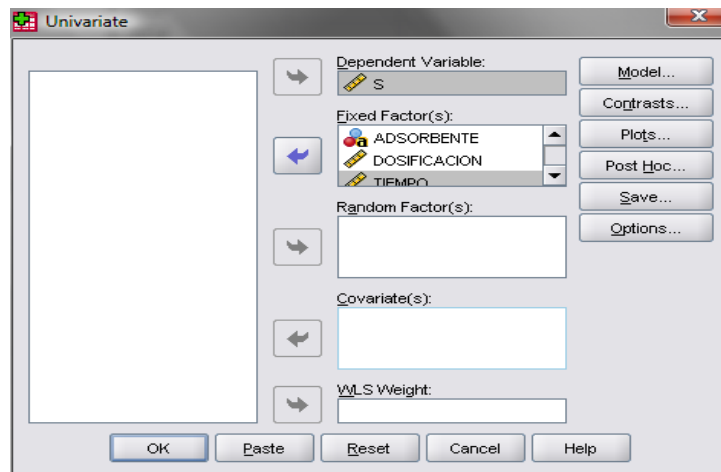
Figura 23. Ventana de selección del tipo de análisis de varianza.



Fuente: Programa de computación SPSS Statics 17.0

4. Se seleccionó las variables independientes y la variable dependiente.

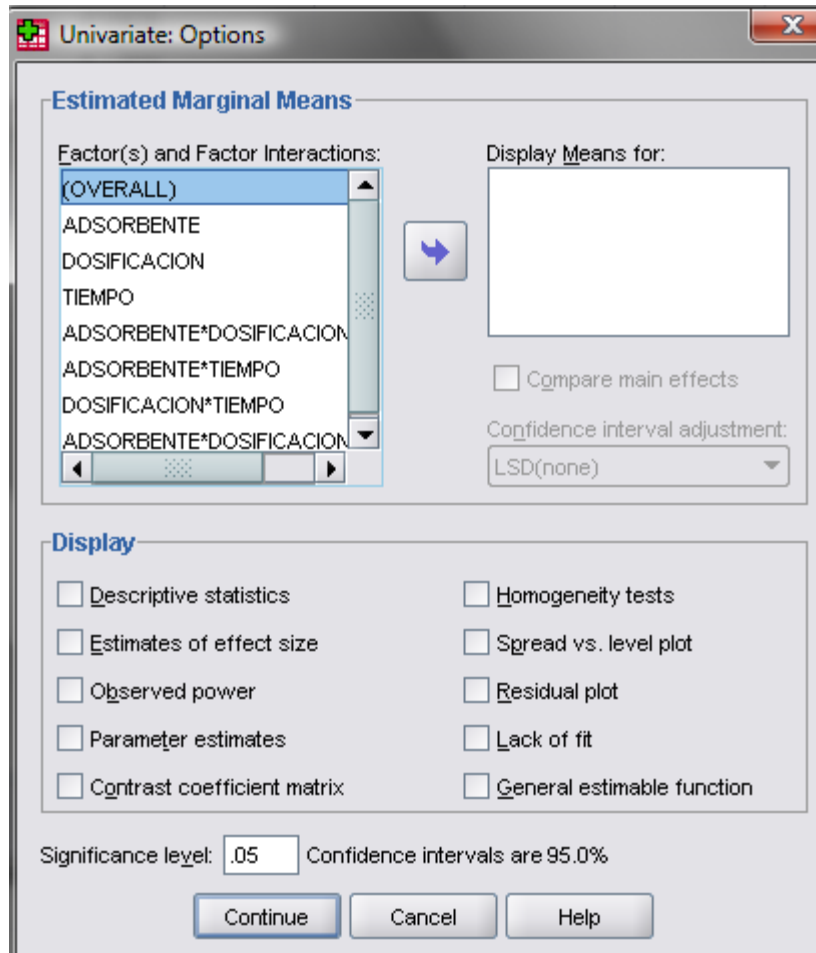
Figura 24. Ventana de ingreso de tipo de variables para análisis de varianza.



Fuente: Programa de computación SPSS Statics 17.0

5. En el menú de opciones, ubicado a la izquierda de la ventana anterior se seleccionó el nivel de confiabilidad.

Figura 25. Ventana de selección de confiabilidad para análisis de varianza.



Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

6. Se seleccionó continuar y posteriormente ok.
7. Se abrió automáticamente una ventana llamada *output* con el análisis de varianza.

Tabla X. Datos para análisis de varianza de tres factores y una variable de respuesta.

| A | D (g/L) | t (h) | %S | A | D (g/L) | t (h) | %S | A | D (g/L) | t(h) | %S |
|---|---------|-------|--------|----|---------|-------|--------|-----|---------|------|--------|
| I | 18 | 1 | 0.1803 | II | 18 | 1 | 0.9466 | III | 18 | 1 | 0.5050 |
| I | 18 | 1 | 0.1909 | II | 18 | 1 | 0.9400 | III | 18 | 1 | 0.5354 |
| I | 18 | 1 | 0.1473 | II | 18 | 1 | 0.8099 | III | 18 | 1 | 0.3704 |
| I | 18 | 2 | 0.2522 | II | 18 | 2 | 0.835 | III | 18 | 2 | 0.3750 |
| I | 18 | 2 | 0.2654 | II | 18 | 2 | 0.9393 | III | 18 | 2 | 0.3565 |
| I | 18 | 2 | 0.2595 | II | 18 | 2 | 0.9353 | III | 18 | 2 | 0.3083 |
| I | 18 | 3 | 0.2192 | II | 18 | 3 | 0.8825 | III | 18 | 3 | 0.3123 |
| I | 18 | 3 | 0.2371 | II | 18 | 3 | 0.8726 | III | 18 | 3 | 0.3182 |
| I | 18 | 3 | 0.2364 | II | 18 | 3 | 0.9281 | III | 18 | 3 | 0.2978 |
| I | 18 | 4 | 0.1546 | II | 18 | 4 | 0.8172 | III | 18 | 4 | 0.3196 |
| I | 18 | 4 | 0.1546 | II | 18 | 4 | 0.8231 | III | 18 | 4 | 0.3196 |
| I | 18 | 4 | 0.1447 | II | 18 | 4 | 0.7901 | III | 18 | 4 | 0.4047 |
| I | 18 | 5 | 0.1453 | II | 18 | 5 | 1.2950 | III | 18 | 5 | 0.4186 |
| I | 18 | 5 | 0.1480 | II | 18 | 5 | 1.3538 | III | 18 | 5 | 0.3869 |
| I | 18 | 5 | 0.1480 | II | 18 | 5 | 0.2707 | III | 18 | 5 | 0.2113 |
| I | 36 | 1 | 0.0549 | II | 36 | 1 | 0.3697 | III | 36 | 1 | 0.1988 |
| I | 36 | 1 | 0.0549 | II | 36 | 1 | 0.3684 | III | 36 | 1 | 0.2060 |
| I | 36 | 1 | 0.0589 | II | 36 | 1 | 0.7050 | III | 36 | 1 | 0.1645 |
| I | 36 | 2 | 0.0595 | II | 36 | 2 | 0.7578 | III | 36 | 2 | 0.1645 |
| I | 36 | 2 | 0.0595 | II | 36 | 2 | 0.6991 | III | 36 | 2 | 0.1565 |
| I | 36 | 2 | 0.0615 | II | 36 | 2 | 0.8033 | III | 36 | 2 | 0.1414 |
| I | 36 | 3 | 0.0589 | II | 36 | 3 | 0.8509 | III | 36 | 3 | 0.2113 |
| I | 36 | 3 | 0.0536 | II | 36 | 3 | 0.7571 | III | 36 | 3 | 0.1948 |
| I | 36 | 3 | 0.0635 | II | 36 | 3 | 0.8192 | III | 36 | 3 | 0.1876 |
| I | 36 | 4 | 0.0351 | II | 36 | 4 | 0.7532 | III | 36 | 4 | 0.2991 |
| I | 36 | 4 | 0.0608 | II | 36 | 4 | 0.8621 | III | 36 | 4 | 0.2707 |
| I | 36 | 4 | 0.0259 | II | 36 | 4 | 0.4661 | III | 36 | 4 | 0.2938 |
| I | 36 | 5 | 0.0734 | II | 36 | 5 | 0.4067 | III | 36 | 5 | 0.3196 |
| I | 36 | 5 | 0.0747 | II | 36 | 5 | 0.3750 | III | 36 | 5 | 0.3222 |
| I | 36 | 5 | 0.0714 | II | 36 | 5 | 0.5902 | III | 36 | 5 | 0.338 |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

Tabla XI Número de tratamientos y de repeticiones por factor.

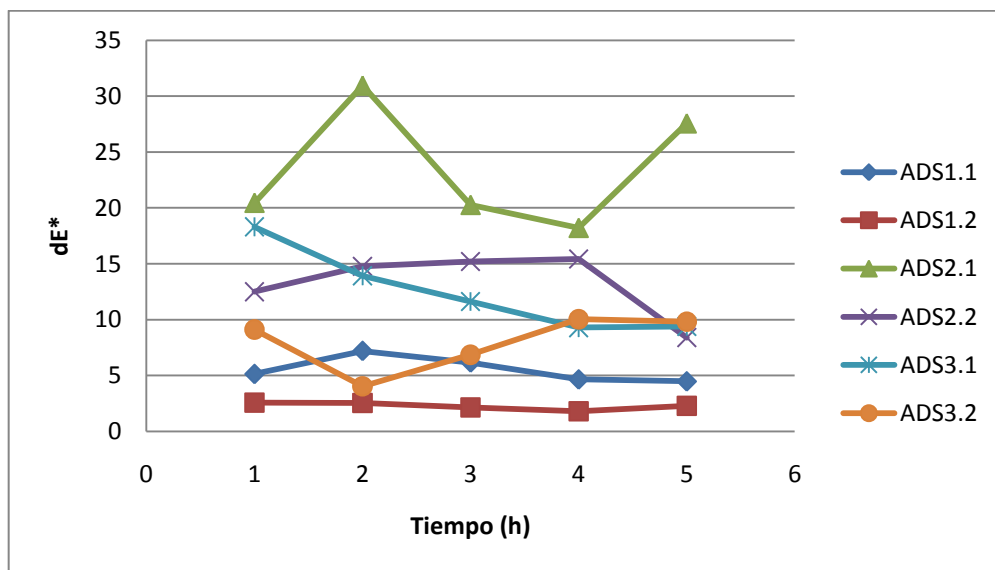
| | | N |
|--------------|-----|----|
| ADSORBENTE | I | 30 |
| | II | 30 |
| | III | 30 |
| DOSIFICACIÓN | 1 | 45 |
| | 8 | |
| | 3 | 45 |
| TIEMPO | 6 | |
| | 1 | 18 |
| | 2 | 18 |
| | 3 | 18 |
| | 4 | 18 |
| | 5 | 18 |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

3 RESULTADOS

3.1 Diferencia de coordenadas de color

Figura 26. Diferencia de color (dE^*) de cada tratamiento, utilizando como referencia la mezcla de disolventes acetato de etilo/alcohol etílico (70/30).



Fuente: Tabla XVI.

Tabla XII. Diferencia de color (dE*) de cada tratamiento, utilizando como referencia la mezcla de disolventes acetato de etilo/alcohol etílico (70/30).

| Nomenclatura | dE* | dE* máximo | Observación |
|--------------|-------|--------------|--------------|
| ADS1.1.1 | 5.21 | 3 | No aceptable |
| ADS1.1.2 | 7.24 | | No aceptable |
| ADS1.1.3 | 6.31 | | No aceptable |
| ADS1.1.4 | 4.75 | | No aceptable |
| ADS1.1.5 | 4.57 | | No aceptable |
| ADS1.2.1 | 2.51 | | Aceptable |
| ADS1.2.2 | 2.52 | | Aceptable |
| ADS1.2.3 | 2.15 | | Aceptable |
| ADS1.2.4 | 1.68 | | Aceptable |
| ADS1.2.5 | 2.18 | | Aceptable |
| ADS2.1.1 | 20.32 | | No aceptable |
| ADS2.1.2 | 30.89 | | No aceptable |
| ADS2.1.3 | 20.16 | | No aceptable |
| ADS2.1.4 | 18.09 | | No aceptable |
| ADS2.1.5 | 27.43 | | No aceptable |
| ADS2.2.1 | 12.34 | | No aceptable |
| ADS2.2.2 | 14.56 | | No aceptable |
| ADS2.2.3 | 14.98 | | No aceptable |
| ADS2.2.4 | 15.19 | | No aceptable |
| ADS2.2.5 | 8.14 | | No aceptable |
| ADS3.1.1 | 18.09 | | No aceptable |
| ADS3.1.2 | 13.70 | | No aceptable |
| ADS3.1.3 | 11.40 | | No aceptable |
| ADS3.1.4 | 9.25 | | No aceptable |
| ADS3.1.5 | 9.36 | | No aceptable |
| ADS3.2.1 | 9.09 | No aceptable | |
| ADS3.2.2 | 4.00 | No aceptable | |
| ADS3.2.3 | 6.82 | No aceptable | |
| ADS3.2.4 | 9.97 | No aceptable | |
| ADS3.2.5 | 9.77 | No aceptable | |

Fuente: Tabla XXIX.

3.2 Porcentaje de reducción relativo de sólidos totales

3.2.1 Modelo matemático que determina porcentaje de sólidos totales en función de las coordenadas de color L , a y b .

$$\%S = a * 0.066 - 0.087 \quad R=0.989$$

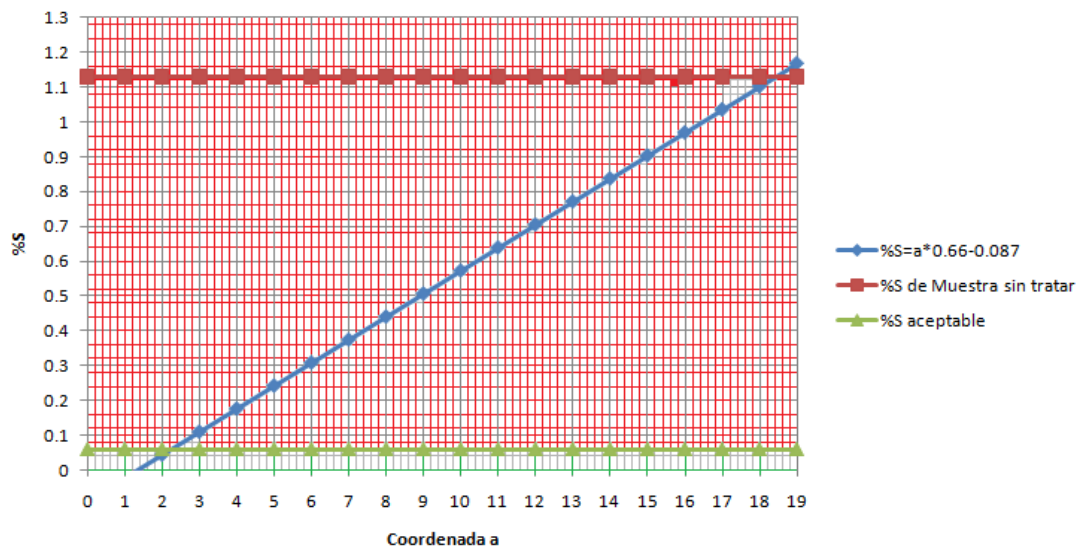
Ecuación No.16

Donde:

$\%S$ = Porcentaje de sólidos

a = valor de coordenada de color a^*

Figura 27. Porcentaje de sólidos totales



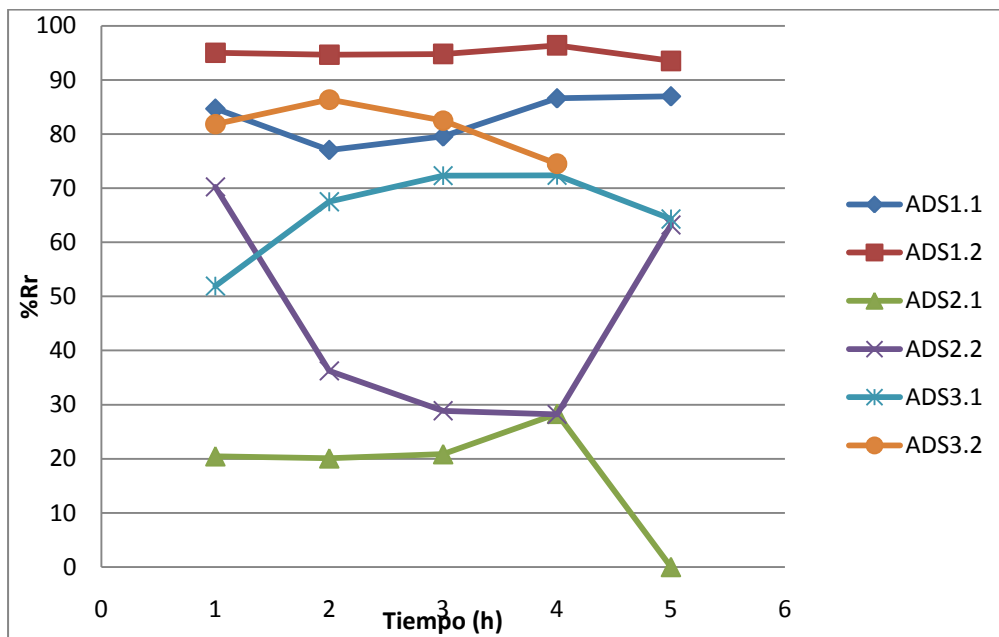
Fuente: Tabla XXXI y ecuación No.16.

Área roja indica el porcentaje de sólidos totales no aceptable.

Área verde indica el porcentaje de sólidos totales aceptable.

3.2.2 Porcentaje de reducción relativo de sólidos totales de cada tratamiento.

Figura 28. Gráfica de porcentaje de reducción relativo de sólidos en función del tipo del tratamiento.



Fuente: Tabla XVII.

Tabla XIII. Porcentaje de reducción relativo de sólidos en función del tratamiento.

| Nomenclatura | %Rr | % Aceptación mínimo | Observación |
|--------------|-----|---------------------|--------------|
| ADS1.1.1 | 87 | 90 | No aceptable |
| ADS1.1.2 | 80 | | No aceptable |
| ADS1.1.3 | 82 | | No aceptable |
| ADS1.1.4 | 89 | | No aceptable |
| ADS1.1.5 | 89 | | No aceptable |
| ADS1.2.1 | 96 | | Aceptable |
| ADS1.2.2 | 96 | | Aceptable |
| ADS1.2.3 | 96 | | Aceptable |
| ADS1.2.4 | 97 | | Aceptable |
| ADS1.2.5 | 95 | | Aceptable |
| ADS2.1.1 | 28 | | No aceptable |
| ADS2.1.2 | 28 | | No aceptable |
| ADS2.1.3 | 29 | | No aceptable |
| ADS2.1.4 | 36 | | No aceptable |
| ADS2.1.5 | 0 | | No aceptable |
| ADS2.2.1 | 74 | | No aceptable |
| ADS2.2.2 | 43 | | No aceptable |
| ADS2.2.3 | 36 | | No aceptable |
| ADS2.2.4 | 35 | | No aceptable |
| ADS2.2.5 | 67 | | No aceptable |
| ADS3.1.1 | 57 | | No aceptable |
| ADS3.1.2 | 71 | | No aceptable |
| ADS3.1.3 | 76 | | No aceptable |
| ADS3.1.4 | 76 | | No aceptable |
| ADS3.1.5 | 68 | | No aceptable |
| ADS3.2.1 | 84 | | No aceptable |
| ADS3.2.2 | 88 | | No aceptable |
| ADS3.2.3 | 85 | | No aceptable |
| ADS3.2.4 | 78 | | No aceptable |
| ADS3.2.5 | 74 | | No aceptable |

Fuente: Tabla XLII y ecuación No.16.

3.3 Ciclos de reutilización del adsorbente

Tabla XIV. Ciclos de reutilización del adsorbente y datos de las propiedades del ADS1.2.4

| Número de Ciclo | %Sr | %Sv | %Rr | %Rr mínimo | dE* | dE* Máximo | Aceptabilidad |
|-----------------|-----|-----|-------|------------|-------|------------|---------------|
| 1 | 100 | 0 | 96.85 | 90 | 1.98 | 3 | Si |
| 2 | 100 | 0 | 87.40 | | 5.60 | | No |
| 2 | 90 | 10 | 88.73 | | 5.12 | | No |
| 2 | 80 | 20 | 90.01 | | 4.76 | | No |
| 2 | 70 | 30 | 90.54 | | 4.55 | | No |
| 2 | 60 | 40 | 91.33 | | 3.82 | | No |
| 2 | 50 | 50 | 93.58 | | 2.79 | | Si |
| 3 | 100 | 0 | 84.16 | | 7.91 | | No |
| 3 | 90 | 10 | 91.16 | | 5.33 | | No |
| 3 | 80 | 20 | 93.43 | | 5.74 | | No |
| 3 | 70 | 30 | 94.71 | | 4.97 | | No |
| 3 | 60 | 40 | 95.16 | | 4.50 | | No |
| 3 | 50 | 50 | 95.41 | | 3.98 | | No |
| 3 | 40 | 60 | 95.86 | | 3.65 | | No |
| 3 | 30 | 70 | 98.50 | | 3.30 | | No |
| 3 | 20 | 80 | 99.6 | | 2.90 | | SI |
| 4 | 100 | 0 | 71.29 | | 13.98 | | No |
| 4 | 80 | 20 | 74.56 | | 12.82 | | No |
| 4 | 60 | 40 | 92.15 | | 4.90 | | No |
| 4 | 40 | 60 | 94.81 | | 4.05 | | No |
| 4 | 20 | 80 | 96.29 | | 3.48 | | No |
| 4 | 10 | 90 | 99.95 | | 2.01 | | Si |

Fuente: Tabla XXXVII-XLI

3.4 Adsorbente a utilizar en el sistema de tratamiento de disolventes.

Tabla XV. Adsorbente, dosificación y tiempo de agitación a utilizar en la recuperación de disolventes.

| | |
|---------------------|---------|
| Adsorbente | Tipo I |
| Dosificación | 36g/L |
| Tiempo de agitación | 4 horas |
| No. Ciclos | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVI. Propiedades y datos del tratamiento con el adsorbente tipo I dosificación 36g/L y tiempo de agitación de 4 horas.

| Número de Ciclo | %Sr | dE | %Rr |
|-----------------|-----|------|-------|
| 1 | 100 | 1.98 | 96.77 |

Fuente: Tabla XXVIII.

3.5 Análisis estadístico.

Tabla XVII. Análisis de varianza para cada tratamiento, tomando como variable de respuesta el porcentaje de sólidos.

| Fuente | Suma de cuadrados | df | Mean Square | F | Sig. |
|--|--------------------|----|-------------|---------|------|
| Modelo corregido | 7.887 ^a | 29 | .272 | 16.138 | .000 |
| Intercepto | 14.146 | 1 | 14.146 | 839.359 | .000 |
| ADSORBENTE | 6.636 | 2 | 3.318 | 196.884 | .000 |
| DOSIFICACIÓN | .684 | 1 | .684 | 40.556 | .000 |
| TIEMPO | .021 | 4 | .005 | .315 | .867 |
| ADSORBENTE * DOSIFICACIÓN | .077 | 2 | .039 | 2.286 | .111 |
| ADSORBENTE * TIEMPO | .155 | 8 | .019 | 1.151 | .344 |
| DOSIFICACIÓN * TIEMPO | .086 | 4 | .021 | 1.269 | .292 |
| ADSORBENTE * DOSIFICACIÓN * TIEMPO | .228 | 8 | .029 | 1.695 | .118 |
| Error | 1.011 | 60 | .017 | | |
| Total | 23.045 | 90 | | | |
| Corrección total | 8.899 | 89 | | | |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

Tabla XVIII. Análisis de varianza para cada tratamiento, tomando como variable de respuesta la diferencia de color.

| Fuente | Suma de cuadrado | df | Mean Square | F | Sig. |
|--|-----------------------|----|-------------|-----------|------|
| Modelo corregido | 4839.078 ^a | 29 | 166.865 | 391.246 | .000 |
| Intercepto | 10415.250 | 1 | 10415.250 | 24420.536 | .000 |
| ADSORBENTE | 3080.099 | 2 | 1540.050 | 3610.939 | .000 |
| DOSIFICACIÓN | 824.464 | 1 | 824.464 | 1933.113 | .000 |
| TIEMPO | 64.043 | 4 | 16.011 | 37.540 | .000 |
| ADSORBENTE * DOSIFICACIÓN | 210.996 | 2 | 105.498 | 247.360 | .000 |
| ADSORBENTE * TIEMPO | 199.804 | 8 | 24.976 | 58.560 | .000 |
| DOSIFICACIÓN * TIEMPO | 178.468 | 4 | 44.617 | 104.613 | .000 |
| ADSORBENTE * DOSIFICACIÓN * TIEMPO | 281.203 | 8 | 35.150 | 82.417 | .000 |
| Error | 25.590 | 60 | .426 | | |
| Total | 15279.918 | 90 | | | |
| Corrección total | 4864.668 | 89 | | | |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La mezcla de disolvente usado, con la mínima cantidad de 1.13% de sólidos totales es descartado, por lo tanto no tiene alto contenido de pigmentos, esto da viabilidad para realizar el tratamiento y justifica la evaluación para reutilizar la mezcla en el proceso de limpieza.

Se consideró aceptable el tratamiento al cumplir con los dos parámetros, **diferencia de color (dE^*) menor de tres y porcentaje de reducción relativo de sólidos totales ($\%Rr$) mayor del 90%**, tomando como referencia para ambos parámetros la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

Se midieron las coordenadas de color L^* , a^* y b^* con el espectrofotómetro, para determinar la diferencia de color (dE^*), utilizando la ecuación No. 26, (Ref.6, pág.67). Se aplicaron las muestras de disolvente tratado sobre un sustrato, se utilizó papel filtro por ser poroso, “la muestra penetra una corta distancia en la superficie, los numerosos intersticios permiten que se “trabe” en la superficie por adherencia mecánica” (Ref.10, pág.169), para aplicarlo se utilizó la barra roja por ser de mayor carga. En la figura 26, se observa que cumplen con el parámetro de diferencia de color (dE^*) menor de tres las muestras tratadas con el adsorbente tipo I, dosificación 36g/L y tiempo de adsorción de 1, 2, 3, 4 y 5 horas con valores de 2.51, 2.52, 2.15, 1.68 y 2.18 respectivamente.

Para calcular el porcentaje de reducción relativo de sólidos, se determinó una relación entre la cantidad de sólidos y las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , se realizó una calibración y se descartaron los términos del polinomio no significativos obteniendo una **regresión lineal que relaciona la coordenada de color a^* , esto indica que el pigmento rojo, es el que aporta mayor suciedad a la mezcla de disolventes**. En la figura 27. Se observa que cumplen con el parámetro de porcentaje de reducción relativo de sólidos totales mayor del 90% las muestras tratadas con el adsorbente tipo I, dosificación 36g/L y tiempo de agitación de 1, 2, 3, 4 y 5 horas con valores de 95.02%, 94.67%, 94.81%, 96.41% y 93.53% respectivamente.

Los tres tipos de adsorbentes evaluados, son utilizados en la industria para la decoloración, El adsorbente tipo II “es de virutas de madera, en presencia de ácido fosfórico”. (Ver anexo 3, página 135), el adsorbente tipo III “tiene características de la cascara de coco” (ver anexo 3, página 136), el adsorbente tipo I “es producido por activación química de maderas cuidadosamente seleccionadas. Se ha procesado para proporcionar una distribución del tamaño de poro con propiedades de adsorción excepcional para sustancias de alto peso molecular, especialmente controlado de manera de facilitar y optimizar la operación de filtración”. (Ver anexo 3, página 133). **El tratamiento que cumple con ambos parámetros de aceptabilidad, en mejor proporción es el adsorbente tipo I, dosificación 36g/L y tiempo de adsorción de 4 horas**, con 1.68 de diferencia de color (dE^*) y 96.41% porcentaje de reducción relativo de sólidos ($\%Rr$). Por lo tanto se determinó experimentalmente que de los adsorbentes evaluados el **adsorbente tipo I es el más adecuado para tratar la mezcla de disolventes usados, la efectividad del adsorbente es la propiedad de adsorber sustancias de alto peso molecular, así como los pigmentos orgánicos contenidos en la mezcla de disolventes usados**.

Para el mejor tratamiento, se determinaron los ciclos de reutilización del adsorbente, es decir la cantidad de veces que se puede utilizar el mismo adsorbente del primer proceso (primer ciclo) sin aplicarle ningún proceso de regeneración, para el tratamiento de la mezcla de disolventes usados. El primer ciclo obtuvo parámetros aceptables. El segundo ciclo obtuvo parámetros no aceptables, por lo tanto se realizaron mezclas del disolvente tratado con el disolvente puro a diferentes proporciones, hasta determinar la mezcla tratada aceptable, con 50% disolvente puro, en el tercer ciclo con 80% disolvente puro y en el cuarto ciclo con 90% de disolvente puro. Los resultados anteriores indican que se podría utilizar el adsorbente cuatro veces más sin ningún tipo de regeneración, aplicando una proporción de disolvente puro, **sin embargo la cantidad de disolvente puro que hay que aplicar es mayor o igual al 50% por lo tanto, se recomienda utilizar una vez el adsorbente.**

Se determinó por medio del análisis de varianza de 95% de confiabilidad que los tres factores evaluados (tipo de adsorbente, dosificación de adsorbente y tiempo de adsorción), son significativos sobre la variable diferencia de color (dE^*), y para la variable porcentaje de sólidos totales (%S) el tiempo de adsorción no es significativo, esto se debe a que **la cantidad de sólidos de la muestra está ligada al valor de la coordenada a^* , por lo tanto los pigmentos rojizos son eliminados de la muestra tratada con el adsorbente tipo I dosificación 36g/L, independientemente del tiempo de adsorción,** aunque este cambie las coordenadas de color L^* y b^* no tiene efecto significativo en el valor de sólidos totales.

5. LOGROS ALCANZADOS

1. Se instruyó a los operarios encargados de la limpieza de equipos, a mantener estándar la concentración de la mezcla de disolventes acetato de etilo y alcohol etílico que se utiliza para la limpieza de los equipos, por medio de la estandarización de los procesos se puede implementar un tratamiento efectivo.
2. Se determinó que existe una alternativa para el tratamiento de los desechos de la salida de la limpieza de los equipos en la industria gráfica más amigable al medio ambiente que la destilación.
3. Se determinó que utilizando el adsorbente tipo I a dosificación 36g/L a tiempos de agitación de 1,2,3,4 y 5 horas, sí es posible cumplir con los parámetros de aceptabilidad de porcentaje total de reducción de sólidos mayor del 90% y la diferencia de color de la mezcla tratada tomando como referencia la mezcla de acetato de etilo y alcohol etílico, menor de tres.

CONCLUSIONES

1. El mejor tratamiento de adsorción fue el carbón activado identificado como tipo I, cumple la refinación para un máximo de color aceptable.
2. El mejor tratamiento de adsorción fue el carbón activado identificado como tipo I, que cumple la refinación para un mínimo de porcentaje de reducción de sólidos totales.
3. Se obtuvo una correlación lineal experimental, con el programa SPSS Statics que determina el porcentaje de sólidos totales residuales en función únicamente de la coordenada de color a^* .
4. La capacidad de reutilización del mejor adsorbente (tipo I), sólo permite un ciclo de uso para el refinado de solventes sucios.
5. Se determinó estadísticamente que los tiempos de adsorción en el estudio no marcaron diferencia significativa en el resultado del porcentaje de sólidos totales, de las muestras de disolvente tratadas.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar los treinta tratamientos empleados en este estudio, utilizando como factor de evaluación la diferencia de viscosidad de la muestra tratada y la mezcla de disolventes acetato de etilo/alcohol etílico.
2. Evaluar los treinta tratamientos empleados en este estudio, para tratar el residuo de la limpieza de equipos con tintas inorgánicas y tintas offset, estudiar si es factible obtener valores aceptables de porcentaje de reducción relativa de sólidos ($\%Rr$) y diferencia de color (dE^*).
3. Utilizar otros adsorbentes, con diversas dosificaciones y tiempos de agitación, para evaluar la reducción relativa de sólidos ($\%Rr$) y diferencia de coordenadas de color (dE^*) de las muestras de tinta y disolvente tratadas.
4. Evaluar la factibilidad de construir un equipo para el tratamiento que cumplió los parámetros de aceptabilidad (ADS1.2.4).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Perry, Robert H. Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw Hill. Séptima edición, 2001.
2. Wikipedia la enciclopedia libre, artículo original NASA. Espectro electromagnético.
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties edit.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg). Estados Unidos de América. Artículo creado el 26 de octubre de 2007
3. Wikipedia la enciclopedia libre, artículo de Horst Frank. Espectro Visible.
http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible. Estados Unidos de América. Artículo creado el 15 de febrero de 2005.
4. Wikipedia la enciclopedia libre, artículo de Gringer. Espectro Visible.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>. Estados Unidos de América. Artículo creado el 16 de septiembre de 2006.
5. Hunter Lab e Izasa. Principios Básicos de Medida y Percepción del Color. Página 5. España. 2001.
6. Siegwerk Centroamérica, S.A. Teoría del Color. Página 9. Guatemala 2004
7. Siegwerk Centroamérica, S.A. Teoría del Color. Página 16. Guatemala 2004

8. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 39. España. 2001.
9. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 12. España. 2001.
10. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 22. España. 2001.
11. Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color. Página 31. España. 2001.
12. Méndez Estébanez David y otros. Coordenadas del color. Página 1.
13. Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color. Página 35. España. 2001.
14. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 36. España 2001.
15. Lindbloom Bruce. Espacio de color *CIE Lab*. www.brucelindbloom.com, Estados Unidos de América. Artículo creado 18 de abril del 2007.
16. Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color. Página 52. España. 2001.
17. Karpinski Andrew, Ph.D. Factorial Anova. <http://astro.temple.edu/~andykarp>. Capitulo 8 pág. 8-14. Estados Unidos de América. Abril 2007.

18. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 67. España. 2001.

19. Wiltcoff Harold, Reuben Bryan. Productos Químicos Orgánicos Industriales volumen 2 Tecnología, formulaciones y usos. Pág.23-180.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hunter Lab e Izasa. Principios Básicos de Medida y Percepción del Color. Página 5. España. 2001.
2. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 12. España. 2001.
3. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 22. España. 2001.
4. Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color. Página 31. España. 2001.
5. Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color. Página 35. España. 2001.
6. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 36. España2001.
7. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 39. España. 2001.
8. Hunter Lab e Izasa, Principios básicos de medida y percepción del color. Página 52. España. 2001.

9. Hunter Lab e Izasa. Principios básicos de medida y percepción del color. Página 67. España. 2001.
10. Karpinski Andrew, Ph.D. Factorial Anova. <http://astro.temple.edu/~andykarp>. Capítulo 8 pág. 8-14. Estados Unidos de América. Abril 2007.
11. Lindbloom Bruce. Espacio de color *CIE Lab*. www.brucelindbloom.com. Estados Unidos de América. Artículo creado 18 de abril del 2007.
12. McCabe, Warren L. y Smith, Julian C. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Cuarta edición. Editorial Reverté. España, 1972.
13. Méndez Estébanez David y otros. Coordenadas del color. Página 1.
14. Monfel Industrias. Fichas de seguridad <http://monfel.com/HDS>. Guatemala, 22 de marzo de 2009.
15. Orozco, Luis. Componentes de tintas flexográficas. Siegwark Centroamérica, Guatemala 2004.
16. Perry, Robert H. Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw Hill. Séptima edición, 2001.
17. Siegwark Centroamérica, S.A. Teoría del Color. Página 9. Guatemala 2004
18. Siegwark Centroamérica, S.A. Teoría del Color. Página 16. Guatemala 2004

19. Treybal, Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda edición. Editorial McGRAW-HILL. México, 1980.
20. Walpole, R. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. 3ª ed. Nueva Editorial Interamericana. México. 1987.
21. Wikipedia la enciclopedia libre, artículo original NASA. Espectro electromagnético.
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties edit.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg). Estados Unidos de América. Artículo creado el 26 de octubre de 2007
22. Wikipedia la enciclopedia libre, artículo de Horst Frank. Espectro Visible.
http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible. Estados Unidos de América. Artículo creado el 15 de febrero de 2005.
23. Wikipedia la enciclopedia libre, artículo de Gringer. Espectro Visible.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>. Estados Unidos de América. Artículo creado el 16 de septiembre de 2006.
24. Wilitcoff Harold, Reuben Bryan. Productos Químicos Orgánicos Industriales volumen 2 Tecnología, formulaciones y usos. Pág.23-180.

APÉNDICE

Apéndice 1. Código de identificación

Para identificar las muestras se codificó tres letras y tres números separados por puntos. Las letras representan el tipo de muestra y el primer dígito representa el tipo de adsorbente, el segundo dígito la dosificación y el tercer dígito el tiempo de agitación. En las tablas posteriores se muestra el significado de las letras:

Tabla XIX. Significado de las letras del código para identificar las muestras tratadas.

| Letras | Significado |
|--------|---|
| ADS | Arrastres de muestras tratadas |
| ATNT | Arrastres de muestras no tratadas |
| AMS | Arrastres de mezclas de solvente (acetato de etilo y alcohol etílico 70/30) |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla XX. Significado de los dígitos del código.

| Primer dígito | Tipo de adsorbente | Segundo dígito | Dosificación g/L | Tercer dígito | Tiempo (h) | Código Identificación |
|---------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|------------|-----------------------|
| 1 | Tipo I | 1 | 18 | 1 | 1 | ADS1.1.1 |
| | | | | 2 | 2 | ADS1.1.2 |
| | | | | 3 | 3 | ADS1.1.3 |
| | | | | 4 | 4 | ADS1.1.4 |
| | | | | 5 | 5 | ADS1.1.5 |
| | | 2 | 36 | 1 | 1 | ADS1.2.1 |
| | | | | 2 | 2 | ADS1.2.2 |
| | | | | 3 | 3 | ADS1.2.3 |
| | | | | 4 | 4 | ADS1.2.4 |
| | | | | 5 | 5 | ADS1.2.5 |
| 2 | Tipo II | 1 | 18 | 1 | 1 | ADS2.1.1 |
| | | | | 2 | 2 | ADS2.1.2 |
| | | | | 3 | 3 | ADS2.1.3 |
| | | | | 4 | 4 | ADS2.1.4 |
| | | | | 5 | 5 | ADS2.1.5 |
| | | 2 | 36 | 1 | 1 | ADS2.2.1 |
| | | | | 2 | 2 | ADS2.2.2 |
| | | | | 3 | 3 | ADS2.2.3 |
| | | | | 4 | 4 | ADS2.2.4 |
| | | | | 5 | 5 | ADS2.2.5 |
| 3 | Tipo III | 1 | 18 | 1 | 1 | ADS3.1.1 |
| | | | | 2 | 2 | ADS3.1.2 |
| | | | | 3 | 3 | ADS3.1.3 |
| | | | | 4 | 4 | ADS3.1.4 |
| | | | | 5 | 5 | ADS3.1.5 |
| | | 2 | 36 | 1 | 1 | ADS3.2.1 |
| | | | | 2 | 2 | ADS3.2.2 |
| | | | | 3 | 3 | ADS3.2.3 |
| | | | | 4 | 4 | ADS3.2.4 |
| | | | | 5 | 5 | ADS3.2.5 |

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2. Coordenadas de color

Tabla XXI. Coordenadas de color L*, a*, b, C* y H* de papel filtro tipo Whatman 1.

| Coordenada | Muestra | | | |
|------------|---------|--------|--------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio |
| L* | 104.65 | 104.65 | 104.65 | 104.65 |
| a* | 0.76 | 0.93 | 0.76 | 0.82 |
| b* | -1.47 | -1.48 | -1.47 | -1.47 |
| C* | 1.65 | 1.74 | 1.65 | 1.68 |
| H* | 297.34 | 302.14 | 297.34 | 298.94 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.13

Tabla XXII. Coordenadas de color L*, a*, b* de la mezcla de disolventes acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30% y diferencia de coordenadas de color utilizando como referencia papel filtro.

| Coordenada | Muestra | | | | referencia | Diferencia | |
|------------|---------|--------|--------|----------|------------|------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | | |
| L* | 104.37 | 104.62 | 104.08 | 104.36 | 104.65 | dL | -0.29 |
| a* | 0.93 | 0.93 | 1.19 | 1.02 | 0.82 | da | 0.11 |
| b* | -1.15 | -1.01 | -1.09 | -1.08 | -1.47 | db | 0.32 |
| C* | 1.48 | 1.37 | 1.61 | 1.49 | 1.68 | dC | -0.20 |
| H* | 308.96 | 312.64 | 317.51 | 313.04 | 298.94 | dH | 0.28 |
| | | | | | | dE | 0.45 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.1, 2, 3, 6, 7, 8 y 13.

Tabla XXIII. Coordenadas de color L*, a*, b*, C* y H* del arrastre de tinta no tratada y diferencia de coordenadas de color utilizando como referencia papel filtro.

| Coordenada | Muestra | | | | referencia | Diferencia | |
|------------|---------|--------|--------|----------|------------|------------|--------|
| | 1.00 | 2.00 | 3.00 | Promedio | | | |
| L* | 72.00 | 71.92 | 73.80 | 72.57 | 104.65 | dL | -32.08 |
| a* | 14.03 | 14.38 | 14.08 | 14.16 | 0.82 | da | 13.35 |
| b* | -11.23 | -12.50 | -12.13 | -11.95 | -1.47 | db | -10.48 |
| C* | 17.97 | 19.05 | 18.58 | 18.54 | 1.68 | dC | 16.86 |
| H* | 321.32 | 319.00 | 319.25 | 319.86 | 298.94 | dH | 1.96 |
| | | | | | | dE | 36.29 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.1, 2, 3, 6, 7, 8 y 13.

Tabla XXIV. Luminosidad (L^*) y diferencia de coordenada (dL^*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | dL^* |
|--------------|---------|--------|--------|----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 100.60 | 100.89 | 100.97 | 100.82 | 104.36 | -3.54 |
| ADS1.1.2 | 99.74 | 98.81 | 99.21 | 99.25 | 104.36 | -5.11 |
| ADS1.1.3 | 101.23 | 100.51 | 100.73 | 100.82 | 104.36 | -3.54 |
| ADS1.1.4 | 101.92 | 101.74 | 102.37 | 102.01 | 104.36 | -2.35 |
| ADS1.1.5 | 102.10 | 101.82 | 102.37 | 102.10 | 104.36 | -2.26 |
| ADS1.2.1 | 103.00 | 103.55 | 102.56 | 103.04 | 104.36 | -1.32 |
| ADS1.2.2 | 103.55 | 103.47 | 102.87 | 103.30 | 104.36 | -1.06 |
| ADS1.2.3 | 104.16 | 103.68 | 103.95 | 103.93 | 104.36 | -0.43 |
| ADS1.2.4 | 103.58 | 103.17 | 103.11 | 103.29 | 104.36 | -1.07 |
| ADS1.2.5 | 103.20 | 103.00 | 103.15 | 103.12 | 104.36 | -1.24 |
| ADS2.1.1 | 90.23 | 90.59 | 92.24 | 91.02 | 104.36 | -13.34 |
| ADS2.1.2 | 87.86 | 86.96 | 86.91 | 87.24 | 104.36 | -17.12 |
| ADS2.1.3 | 91.84 | 92.10 | 91.45 | 91.80 | 104.36 | -12.56 |
| ADS2.1.4 | 92.45 | 92.44 | 92.32 | 92.40 | 104.36 | -11.96 |
| ADS2.1.5 | 86.94 | 86.99 | 86.97 | 86.97 | 104.36 | -17.39 |
| ADS2.2.1 | 98.54 | 97.80 | 97.81 | 98.05 | 104.36 | -6.31 |
| ADS2.2.2 | 96.86 | 96.40 | 96.61 | 96.62 | 104.36 | -7.74 |
| ADS2.2.3 | 97.08 | 96.10 | 97.16 | 96.78 | 104.36 | -7.58 |
| ADS2.2.4 | 96.81 | 97.13 | 95.89 | 96.61 | 104.36 | -7.75 |
| ADS2.2.5 | 99.45 | 99.84 | 100.04 | 99.78 | 104.36 | -4.58 |
| ADS3.1.1 | 86.33 | 89.72 | 89.73 | 88.59 | 104.36 | -15.77 |
| ADS3.1.2 | 91.49 | 91.88 | 93.07 | 92.15 | 104.36 | -12.21 |
| ADS3.1.3 | 93.91 | 94.26 | 94.30 | 94.16 | 104.36 | -10.20 |
| ADS3.1.4 | 96.97 | 96.43 | 96.42 | 96.61 | 104.36 | -7.75 |
| ADS3.1.5 | 97.88 | 97.50 | 98.16 | 97.85 | 104.36 | -6.51 |
| ADS3.2.1 | 96.63 | 96.48 | 96.84 | 96.65 | 104.36 | -7.71 |
| ADS3.2.2 | 101.05 | 101.40 | 101.61 | 101.35 | 104.36 | -3.01 |
| ADS3.2.3 | 98.16 | 98.27 | 99.24 | 98.56 | 104.36 | -5.80 |
| ADS3.2.4 | 95.00 | 96.71 | 95.09 | 95.60 | 104.36 | -8.76 |
| ADS3.2.5 | 96.24 | 96.13 | 96.12 | 96.16 | 104.36 | -8.20 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.1 y 13.

Tabla XXV. Coordenada a* y diferencia de coordenada (da*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

| Nomenclatura | Muestra | | | | Referencia | da |
|--------------|---------|-------|-------|----------|------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 4.05 | 4.21 | 3.55 | 3.94 | 1.02 | 2.92 |
| ADS1.1.2 | 5.14 | 5.34 | 5.25 | 5.24 | 1.02 | 4.22 |
| ADS1.1.3 | 4.64 | 4.91 | 4.90 | 4.82 | 1.02 | 3.80 |
| ADS1.1.4 | 3.66 | 3.66 | 3.51 | 3.61 | 1.02 | 2.59 |
| ADS1.1.5 | 3.52 | 3.56 | 3.56 | 3.55 | 1.02 | 2.53 |
| ADS1.2.1 | 2.15 | 2.15 | 2.21 | 2.17 | 1.02 | 1.15 |
| ADS1.2.2 | 2.22 | 2.22 | 2.25 | 2.23 | 1.02 | 1.21 |
| ADS1.2.3 | 2.21 | 2.13 | 2.28 | 2.21 | 1.02 | 1.19 |
| ADS1.2.4 | 1.85 | 2.24 | 1.71 | 1.93 | 1.02 | 0.91 |
| ADS1.2.5 | 2.43 | 2.45 | 2.40 | 2.43 | 1.02 | 1.41 |
| ADS2.1.1 | 15.66 | 15.56 | 13.59 | 14.94 | 1.02 | 13.92 |
| ADS2.1.2 | 13.97 | 15.55 | 15.49 | 15.00 | 1.02 | 13.98 |
| ADS2.1.3 | 14.69 | 14.54 | 15.38 | 14.87 | 1.02 | 13.85 |
| ADS2.1.4 | 13.70 | 13.79 | 13.29 | 13.59 | 1.02 | 12.57 |
| ADS2.1.5 | 20.94 | 21.83 | 21.71 | 21.49 | 1.02 | 20.47 |
| ADS2.2.1 | 5.42 | 6.92 | 6.90 | 6.41 | 1.02 | 5.39 |
| ADS2.2.2 | 12.00 | 12.80 | 11.91 | 12.24 | 1.02 | 11.22 |
| ADS2.2.3 | 13.49 | 14.21 | 12.79 | 13.50 | 1.02 | 12.48 |
| ADS2.2.4 | 13.73 | 12.73 | 14.38 | 13.61 | 1.02 | 12.59 |
| ADS2.2.5 | 8.38 | 7.48 | 7.00 | 7.62 | 1.02 | 6.60 |
| ADS3.1.1 | 10.26 | 8.97 | 9.43 | 9.55 | 1.02 | 8.53 |
| ADS3.1.2 | 6.93 | 7.00 | 6.72 | 6.88 | 1.02 | 5.86 |
| ADS3.1.3 | 5.99 | 6.05 | 6.14 | 6.06 | 1.02 | 5.04 |
| ADS3.1.4 | 5.83 | 6.16 | 6.16 | 6.05 | 1.02 | 5.03 |
| ADS3.1.5 | 7.45 | 7.66 | 7.18 | 7.43 | 1.02 | 6.41 |
| ADS3.2.1 | 4.52 | 4.33 | 4.44 | 4.43 | 1.02 | 3.41 |
| ADS3.2.2 | 3.81 | 3.69 | 3.46 | 3.65 | 1.02 | 2.63 |
| ADS3.2.3 | 4.52 | 4.27 | 4.16 | 4.32 | 1.02 | 3.30 |
| ADS3.2.4 | 5.85 | 5.42 | 5.77 | 5.68 | 1.02 | 4.66 |
| ADS3.2.5 | 6.16 | 6.20 | 6.44 | 6.27 | 1.02 | 5.25 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.2 y 13.

Tabla XXVI. Coordenada b* y diferencia de coordenada (db*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | db* |
|--------------|---------|--------|--------|----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | -3.51 | -3.68 | -3.48 | -3.56 | -1.08 | -2.48 |
| ADS1.1.2 | -4.45 | -3.74 | -3.83 | -4.01 | -1.08 | -2.93 |
| ADS1.1.3 | -4.33 | -4.86 | -4.80 | -4.66 | -1.08 | -3.58 |
| ADS1.1.4 | -4.37 | -4.44 | -4.06 | -4.29 | -1.08 | -3.21 |
| ADS1.1.5 | -4.30 | -4.14 | -4.00 | -4.15 | -1.08 | -3.07 |
| ADS1.2.1 | -2.87 | -3.05 | -2.71 | -2.88 | -1.08 | -1.80 |
| ADS1.2.2 | -2.91 | -3.00 | -3.13 | -3.01 | -1.08 | -1.93 |
| ADS1.2.3 | -2.77 | -2.81 | -2.89 | -2.82 | -1.08 | -1.74 |
| ADS1.2.4 | -2.23 | -1.71 | -2.06 | -2.00 | -1.08 | -0.92 |
| ADS1.2.5 | -2.36 | -1.75 | -2.44 | -2.18 | -1.08 | -1.10 |
| ADS2.1.1 | -7.56 | -6.83 | -8.14 | -7.51 | -1.08 | -6.43 |
| ADS2.1.2 | -23.17 | -22.42 | -22.41 | -22.67 | -1.08 | -21.59 |
| ADS2.1.3 | -8.83 | -8.69 | -8.34 | -8.62 | -1.08 | -7.54 |
| ADS2.1.4 | -6.39 | -6.59 | -5.59 | -6.19 | -1.08 | -5.11 |
| ADS2.1.5 | -7.12 | -6.38 | -6.33 | -6.61 | -1.08 | -5.53 |
| ADS2.2.1 | -10.13 | -10.25 | -10.25 | -10.21 | -1.08 | -9.13 |
| ADS2.2.2 | -6.08 | -6.59 | -5.93 | -6.20 | -1.08 | -5.12 |
| ADS2.2.3 | -4.51 | -4.76 | -4.08 | -4.45 | -1.08 | -3.37 |
| ADS2.2.4 | -4.54 | -4.44 | -4.69 | -4.56 | -1.08 | -3.48 |
| ADS2.2.5 | -2.56 | -2.22 | -2.33 | -2.37 | -1.08 | -1.29 |
| ADS3.1.1 | 1.70 | 0.96 | 1.25 | 1.30 | -1.08 | 2.38 |
| ADS3.1.2 | 1.30 | 1.15 | 0.38 | 0.94 | -1.08 | 2.02 |
| ADS3.1.3 | -0.26 | -0.42 | -0.33 | -0.34 | -1.08 | 0.74 |
| ADS3.1.4 | -1.44 | -1.31 | -1.31 | -1.35 | -1.08 | -0.27 |
| ADS3.1.5 | -3.27 | -2.98 | -3.07 | -3.11 | -1.08 | -2.03 |
| ADS3.2.1 | 2.18 | 2.35 | 2.43 | 2.32 | -1.08 | 3.40 |
| ADS3.2.2 | -1.21 | -1.01 | -0.54 | -0.92 | -1.08 | 0.16 |
| ADS3.2.3 | 0.11 | 0.58 | 0.27 | 0.32 | -1.08 | 1.40 |
| ADS3.2.4 | -2.29 | -1.81 | -2.15 | -2.08 | -1.08 | -1.00 |
| ADS3.2.5 | -1.81 | -1.78 | -2.26 | -1.95 | -1.08 | -0.87 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.3 y 13.

Tabla XXVII. Coordenada C* y diferencia de coordenada (dC*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | dC* |
|--------------|---------|-------|-------|----------|------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 5.36 | 5.59 | 4.97 | 5.31 | 1.49 | 3.82 |
| ADS1.1.2 | 6.80 | 6.52 | 6.50 | 6.60 | 1.49 | 5.11 |
| ADS1.1.3 | 6.35 | 6.91 | 6.85 | 6.70 | 1.49 | 5.21 |
| ADS1.1.4 | 5.70 | 5.76 | 5.37 | 5.61 | 1.49 | 4.12 |
| ADS1.1.5 | 5.56 | 5.46 | 5.35 | 5.46 | 1.49 | 3.97 |
| ADS1.2.1 | 3.59 | 3.73 | 3.50 | 3.60 | 1.49 | 2.11 |
| ADS1.2.2 | 3.65 | 3.73 | 3.85 | 3.75 | 1.49 | 2.26 |
| ADS1.2.3 | 3.55 | 3.52 | 3.68 | 3.58 | 1.49 | 2.09 |
| ADS1.2.4 | 2.89 | 2.82 | 2.67 | 2.78 | 1.49 | 1.29 |
| ADS1.2.5 | 3.39 | 3.01 | 3.43 | 3.26 | 1.49 | 1.77 |
| ADS2.1.1 | 17.39 | 16.99 | 15.85 | 16.72 | 1.49 | 15.23 |
| ADS2.1.2 | 27.06 | 27.28 | 27.24 | 27.18 | 1.49 | 25.69 |
| ADS2.1.3 | 17.14 | 16.94 | 17.49 | 17.19 | 1.49 | 15.70 |
| ADS2.1.4 | 15.12 | 15.29 | 14.42 | 14.94 | 1.49 | 13.45 |
| ADS2.1.5 | 22.11 | 22.74 | 22.61 | 22.49 | 1.49 | 21.00 |
| ADS2.2.1 | 11.49 | 12.37 | 12.36 | 12.06 | 1.49 | 10.57 |
| ADS2.2.2 | 13.46 | 14.40 | 13.30 | 13.72 | 1.49 | 12.23 |
| ADS2.2.3 | 14.22 | 14.98 | 13.42 | 14.21 | 1.49 | 12.72 |
| ADS2.2.4 | 14.46 | 13.48 | 15.12 | 14.36 | 1.49 | 12.87 |
| ADS2.2.5 | 8.76 | 7.80 | 7.38 | 7.98 | 1.49 | 6.49 |
| ADS3.1.1 | 10.40 | 9.02 | 9.51 | 9.64 | 1.49 | 8.15 |
| ADS3.1.2 | 7.05 | 7.09 | 6.73 | 6.95 | 1.49 | 5.46 |
| ADS3.1.3 | 6.00 | 6.06 | 6.15 | 6.07 | 1.49 | 4.58 |
| ADS3.1.4 | 6.00 | 6.30 | 6.30 | 6.20 | 1.49 | 4.71 |
| ADS3.1.5 | 8.14 | 8.22 | 7.81 | 8.05 | 1.49 | 6.56 |
| ADS3.2.1 | 5.02 | 4.93 | 5.06 | 5.00 | 1.49 | 3.51 |
| ADS3.2.2 | 4.00 | 3.83 | 3.50 | 3.77 | 1.49 | 2.28 |
| ADS3.2.3 | 4.52 | 4.31 | 4.17 | 4.33 | 1.49 | 2.84 |
| ADS3.2.4 | 6.28 | 5.72 | 6.16 | 6.05 | 1.49 | 4.56 |
| ADS3.2.5 | 6.42 | 6.45 | 6.83 | 6.56 | 1.49 | 5.07 |

Fuente: Ecuación No.4, 6 y 13.

Tabla XXVIII. Tonalidad H* y diferencia de tonalidad (dH*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | dH |
|--------------|---------|--------|--------|----------|------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 319.04 | 318.85 | 315.57 | 317.90 | 313.04 | 0.29 |
| ADS1.1.2 | 319.14 | 324.98 | 323.84 | 322.61 | 313.04 | 0.55 |
| ADS1.1.3 | 317.01 | 315.26 | 315.60 | 315.93 | 313.04 | 0.26 |
| ADS1.1.4 | 309.99 | 309.53 | 310.85 | 310.08 | 313.04 | 0.25 |
| ADS1.1.5 | 309.31 | 310.69 | 311.64 | 310.54 | 313.04 | 0.23 |
| ADS1.2.1 | 306.83 | 305.14 | 309.36 | 307.03 | 313.04 | 0.29 |
| ADS1.2.2 | 307.36 | 306.47 | 305.80 | 306.50 | 313.04 | 0.32 |
| ADS1.2.3 | 308.62 | 307.13 | 308.22 | 308.01 | 313.04 | 0.26 |
| ADS1.2.4 | 309.64 | 322.56 | 309.65 | 314.03 | 313.04 | 0.11 |
| ADS1.2.5 | 315.76 | 324.58 | 314.57 | 318.02 | 313.04 | 0.22 |
| ADS2.1.1 | 334.22 | 336.30 | 329.08 | 333.31 | 313.04 | 1.76 |
| ADS2.1.2 | 301.09 | 304.74 | 304.66 | 303.50 | 313.04 | 1.19 |
| ADS2.1.3 | 328.98 | 329.14 | 331.55 | 329.90 | 313.04 | 1.50 |
| ADS2.1.4 | 335.01 | 334.45 | 337.20 | 335.52 | 313.04 | 1.84 |
| ADS2.1.5 | 341.23 | 343.72 | 343.75 | 342.90 | 313.04 | 2.98 |
| ADS2.2.1 | 298.17 | 304.02 | 303.94 | 302.13 | 313.04 | 0.88 |
| ADS2.2.2 | 333.14 | 332.76 | 333.54 | 333.13 | 313.04 | 1.58 |
| ADS2.2.3 | 341.53 | 341.49 | 342.29 | 341.75 | 313.04 | 2.28 |
| ADS2.2.4 | 341.69 | 340.75 | 341.94 | 341.49 | 313.04 | 2.27 |
| ADS2.2.5 | 343.05 | 343.43 | 341.60 | 342.72 | 313.04 | 1.76 |
| ADS3.1.1 | 309.39 | 306.09 | 307.58 | 307.77 | 313.04 | 3.47 |
| ADS3.1.2 | 310.59 | 309.34 | 303.25 | 307.80 | 313.04 | 2.95 |
| ADS3.1.3 | 356.53 | 356.07 | 356.90 | 356.82 | 313.04 | 2.23 |
| ADS3.1.4 | 346.13 | 348.01 | 347.97 | 347.39 | 313.04 | 1.79 |
| ADS3.1.5 | 336.33 | 338.73 | 336.84 | 337.31 | 313.04 | 1.46 |
| ADS3.2.1 | 325.69 | 328.45 | 328.74 | 327.64 | 313.04 | 3.30 |
| ADS3.2.2 | 342.33 | 344.70 | 351.19 | 345.86 | 313.04 | 1.33 |
| ADS3.2.3 | 301.41 | 307.70 | 303.68 | 304.24 | 313.04 | 2.18 |
| ADS3.2.4 | 338.61 | 341.52 | 339.52 | 339.86 | 313.04 | 1.39 |
| ADS3.2.5 | 343.62 | 344.00 | 340.66 | 342.71 | 313.04 | 1.60 |

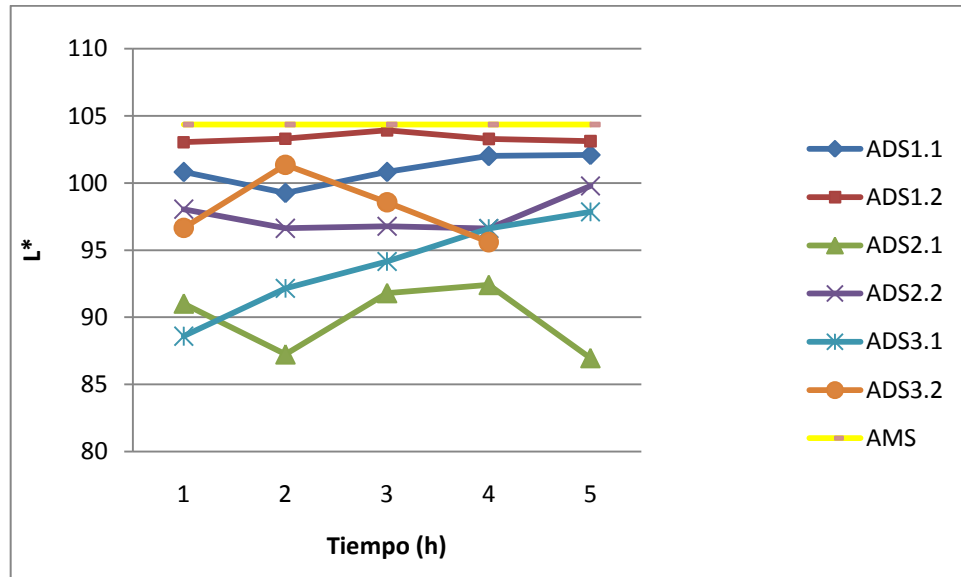
Fuente: Ecuación No.5, 7 y 13.

Tabla XXIX. Diferencia de coordenadas de color (dE^*), utilizando como referencia la mezcla de acetato de etilo al 70% y alcohol etílico al 30%.

| Nomenclatura | dE | Observación |
|--------------|-------|--------------|
| ADS1.1.1 | 5.21 | No aceptable |
| ADS1.1.2 | 7.24 | No aceptable |
| ADS1.1.3 | 6.31 | No aceptable |
| ADS1.1.4 | 4.75 | No aceptable |
| ADS1.1.5 | 4.57 | No aceptable |
| ADS1.2.1 | 2.51 | Aceptable |
| ADS1.2.2 | 2.52 | Aceptable |
| ADS1.2.3 | 2.15 | Aceptable |
| ADS1.2.4 | 1.68 | Aceptable |
| ADS1.2.5 | 2.18 | Aceptable |
| ADS2.1.1 | 20.32 | No aceptable |
| ADS2.1.2 | 30.89 | No aceptable |
| ADS2.1.3 | 20.16 | No aceptable |
| ADS2.1.4 | 18.09 | No aceptable |
| ADS2.1.5 | 27.43 | No aceptable |
| ADS2.2.1 | 12.34 | No aceptable |
| ADS2.2.2 | 14.56 | No aceptable |
| ADS2.2.3 | 14.98 | No aceptable |
| ADS2.2.4 | 15.19 | No aceptable |
| ADS2.2.5 | 8.14 | No aceptable |
| ADS3.1.1 | 18.09 | No aceptable |
| ADS3.1.2 | 13.70 | No aceptable |
| ADS3.1.3 | 11.40 | No aceptable |
| ADS3.1.4 | 9.25 | No aceptable |
| ADS3.1.5 | 9.36 | No aceptable |
| ADS3.2.1 | 9.09 | No aceptable |
| ADS3.2.2 | 4.00 | No aceptable |
| ADS3.2.3 | 6.82 | No aceptable |
| ADS3.2.4 | 9.97 | No aceptable |
| ADS3.2.5 | 9.77 | No aceptable |

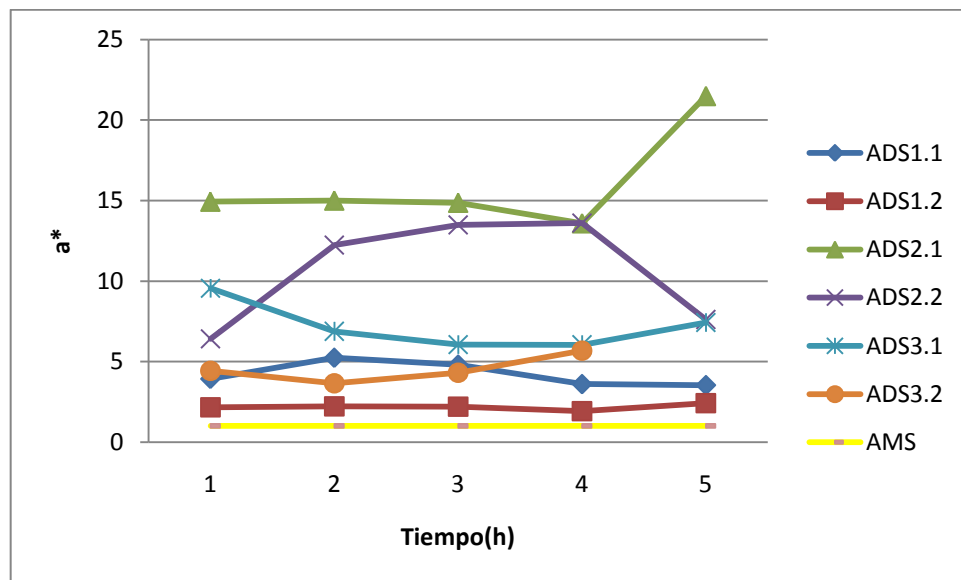
Fuente: Ecuación No.8.

Figura 29. Gráfica de luminosidad (L^*) en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente.



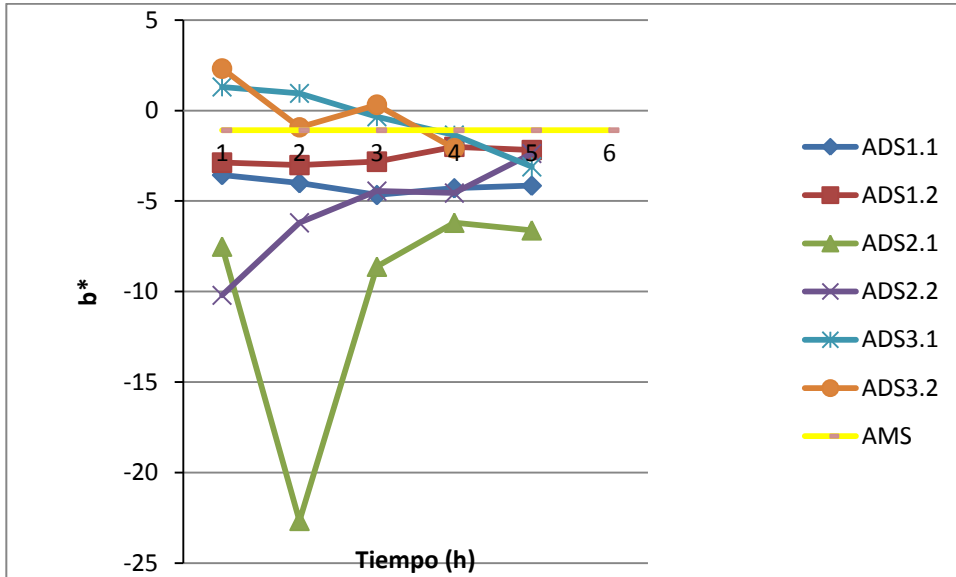
Fuente: Tabla XXIV.

Figura 30. Gráfica de coordenada a^* en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente.



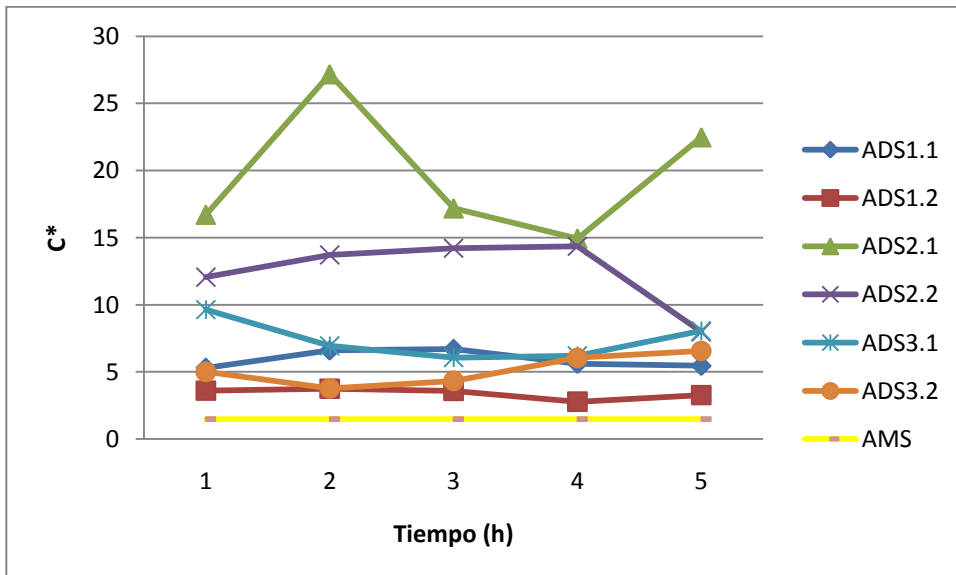
Fuente: Tabla XXV.

Figura 31. Gráfica de coordenada b^* en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente.



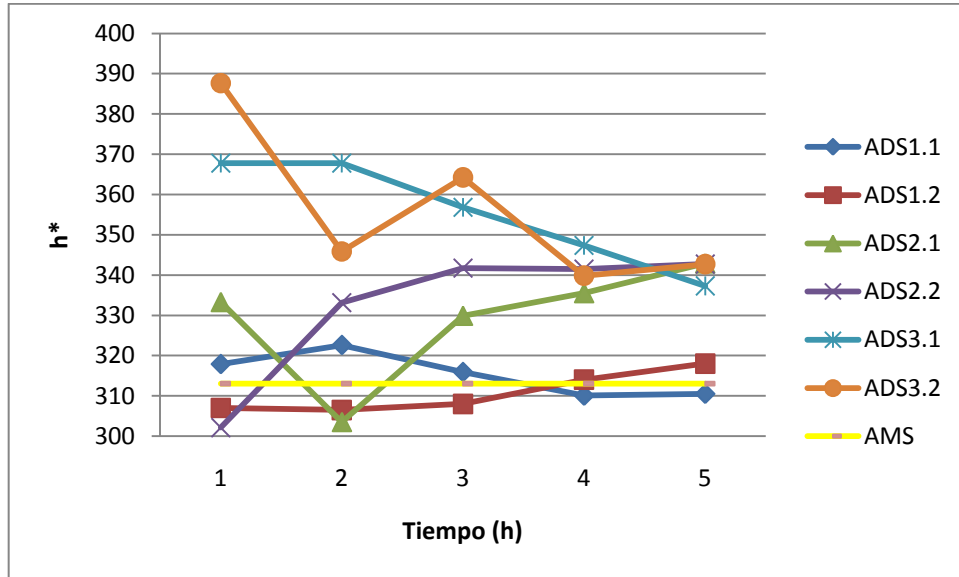
Fuente: Tabla XXVI.

Figura 32. Gráfica de coordenada C^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente,



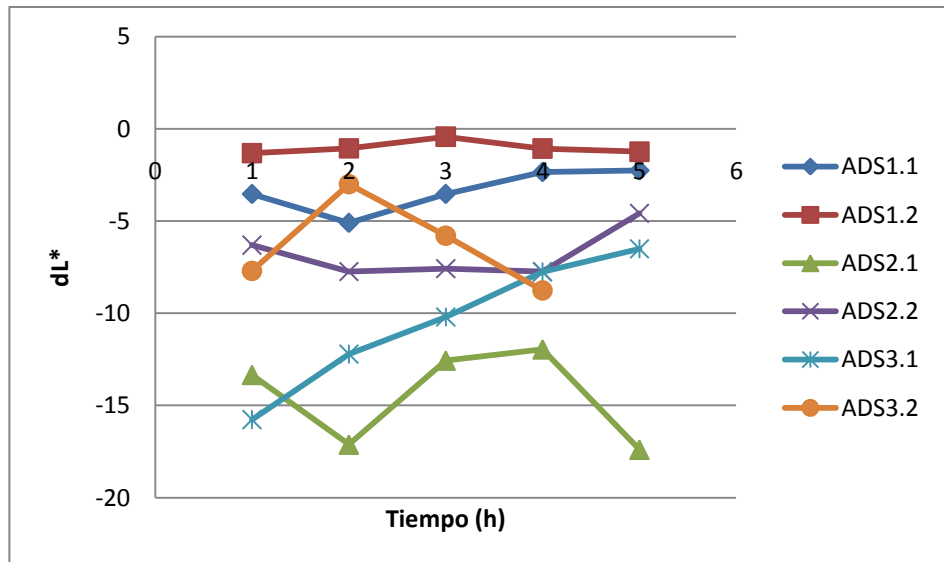
Fuente: Tabla XXVI.

Figura 33. Gráfica de tonalidad H^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente.



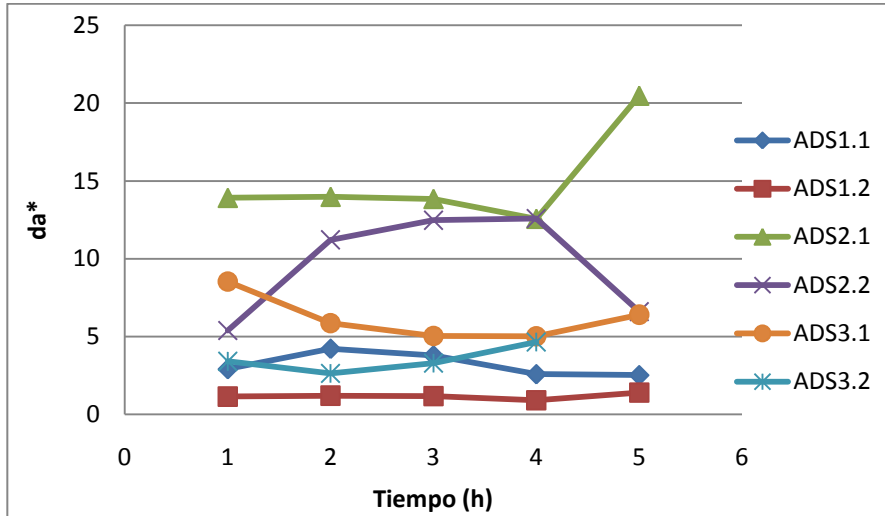
Fuente: Tabla XXVIII.

Figura 34. Gráfica de diferencia de luminosidad dL^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS.



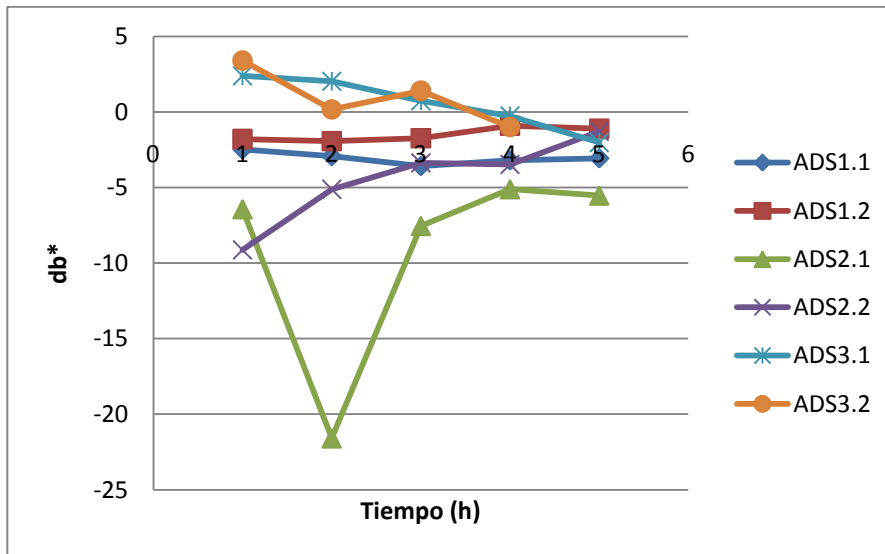
Fuente: Tabla XiV.

Figura 35. Gráfica de diferencia de a^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS.



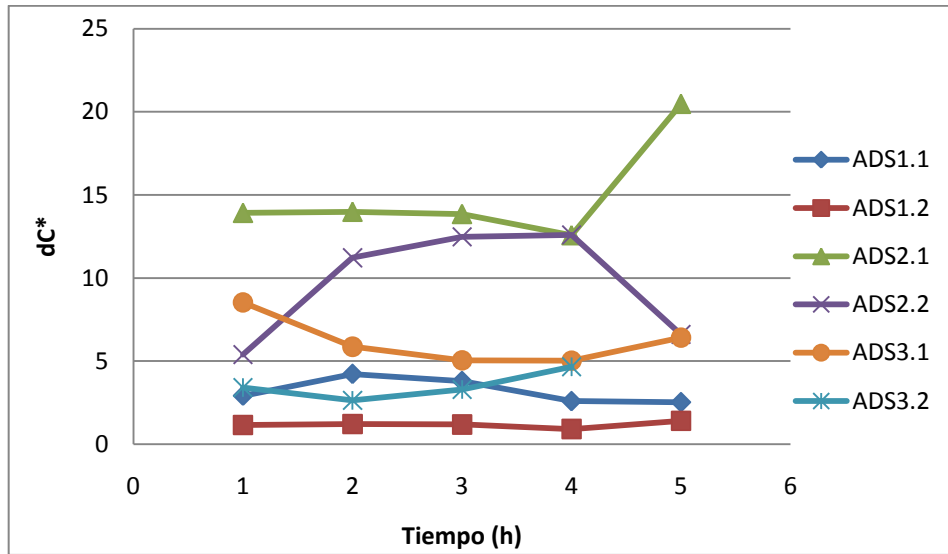
Fuente: Tabla No.XXV.

Figura 36. Gráfica de diferencia de b^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS.



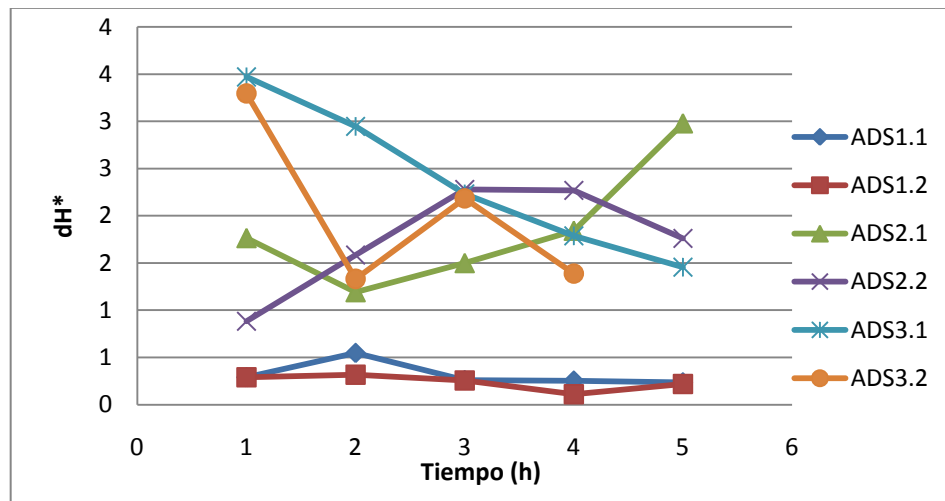
Fuente: Tabla XXVI

Figura 37. Gráfica de diferencia de C^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS.



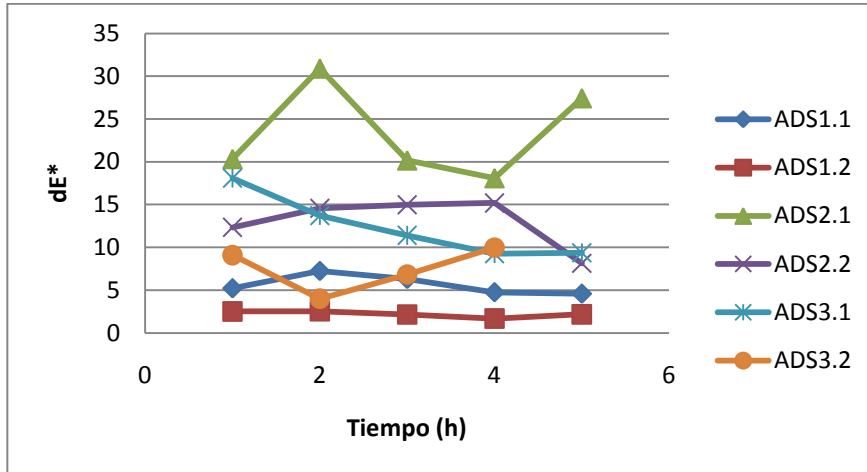
Fuente: Tabla XXVII

Figura 38. Gráfica de diferencia de tonalidad dH^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS.



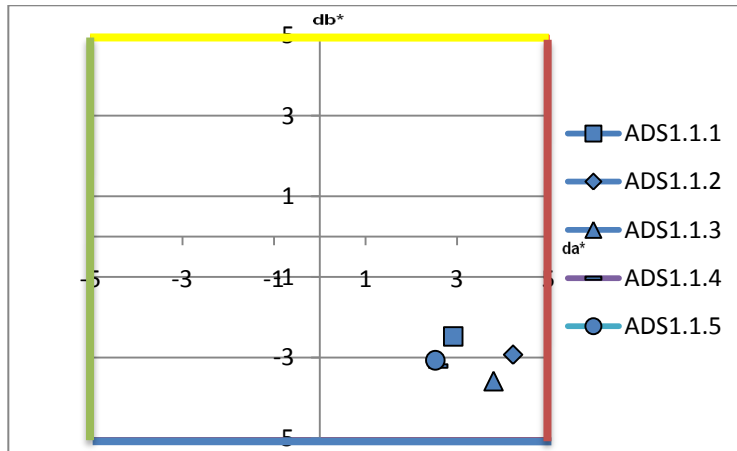
Fuente: Tabla XXVIII

Figura 39. Gráfica de diferencia de color dE^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia AMS.



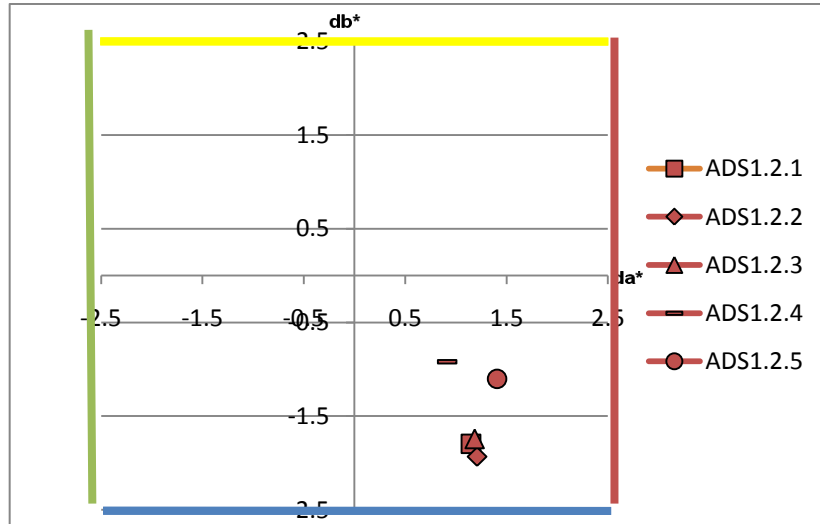
Fuente: Tabla XXIX.

Figura 40. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo I 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia AMS.



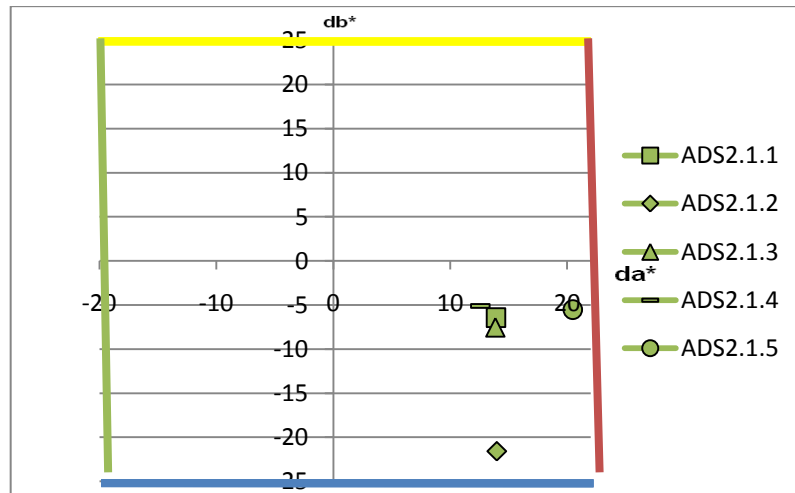
Fuente: Tabla XXV y Tabla XXVI.

Figura 41. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con adsorbente tipo I 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia AMS.



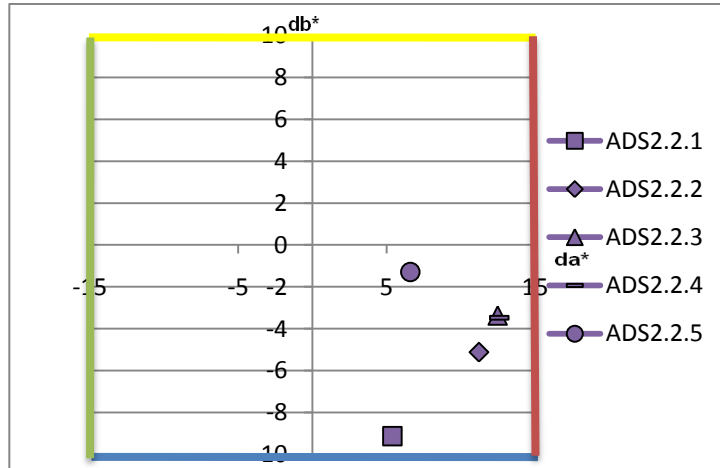
Fuente: Tabla XXV y Tabla XXVI.

Figura 42. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con adsorbente tipo II 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia AMS.



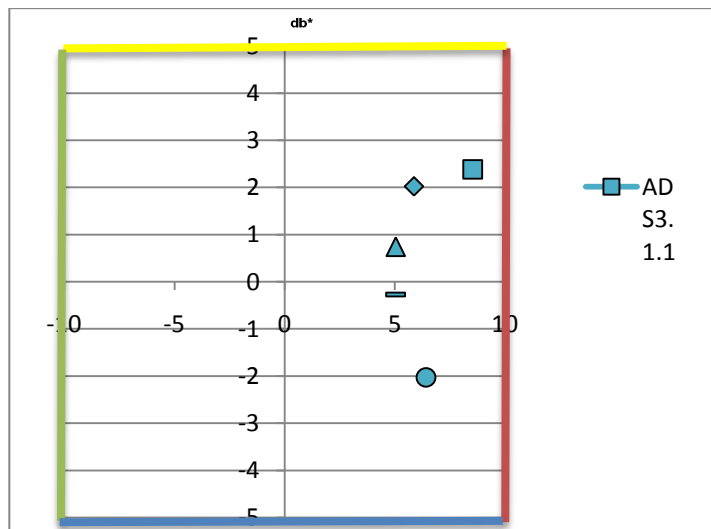
Fuente: Tabla XXV y Tabla XXVI.

Figura 43. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre de disolvente tratado con adsorbente tipo II 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia AMS.



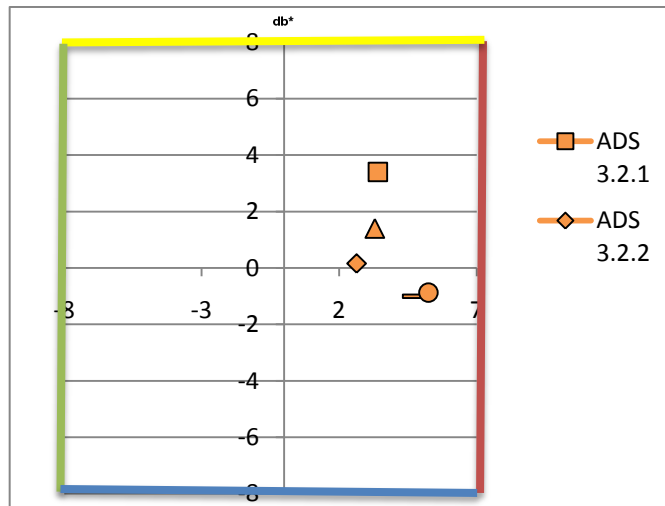
Fuente: Tabla XXV y Tabla XXVI.

Figura 44. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo III 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia AMS.



Fuente: Tabla XXV y Tabla XXVI.

Figura 45. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo III 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia AMS.



Fuente: Tabla XXV y Tabla XXVI.

Tabla XXX Luminosidad (L^*) y diferencia de coordenada (dL^*), utilizando como referencia ATNT.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | dL* |
|--------------|---------|--------|--------|----------|------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 100.60 | 100.89 | 100.97 | 100.82 | 72.57 | 28.25 |
| ADS1.1.2 | 99.74 | 98.81 | 99.21 | 99.25 | 72.57 | 26.68 |
| ADS1.1.3 | 101.23 | 100.51 | 100.73 | 100.82 | 72.57 | 28.25 |
| ADS1.1.4 | 101.92 | 101.74 | 102.37 | 102.01 | 72.57 | 29.44 |
| ADS1.1.5 | 102.10 | 101.82 | 102.37 | 102.10 | 72.57 | 29.53 |
| ADS1.2.1 | 103.00 | 103.55 | 102.56 | 103.04 | 72.57 | 30.47 |
| ADS1.2.2 | 103.55 | 103.47 | 102.87 | 103.30 | 72.57 | 30.73 |
| ADS1.2.3 | 104.16 | 103.68 | 103.95 | 103.93 | 72.57 | 31.36 |
| ADS1.2.4 | 103.58 | 103.17 | 103.11 | 103.29 | 72.57 | 30.72 |
| ADS1.2.5 | 103.20 | 103.00 | 103.15 | 103.12 | 72.57 | 30.55 |
| ADS2.1.1 | 90.23 | 90.59 | 92.24 | 91.02 | 72.57 | 18.45 |
| ADS2.1.2 | 87.86 | 86.96 | 86.91 | 87.24 | 72.57 | 14.67 |
| ADS2.1.3 | 91.84 | 92.10 | 91.45 | 91.80 | 72.57 | 19.23 |
| ADS2.1.4 | 92.45 | 92.44 | 92.32 | 92.40 | 72.57 | 19.83 |
| ADS2.1.5 | 86.94 | 86.99 | 86.97 | 86.97 | 72.57 | 14.40 |
| ADS2.2.1 | 98.54 | 97.80 | 97.81 | 98.05 | 72.57 | 25.48 |
| ADS2.2.2 | 96.86 | 96.40 | 96.61 | 96.62 | 72.57 | 24.05 |
| ADS2.2.3 | 97.08 | 96.10 | 97.16 | 96.78 | 72.57 | 24.21 |
| ADS2.2.4 | 96.81 | 97.13 | 95.89 | 96.61 | 72.57 | 24.04 |
| ADS2.2.5 | 99.45 | 99.84 | 100.04 | 99.78 | 72.57 | 27.21 |
| ADS3.1.1 | 86.33 | 89.72 | 89.73 | 88.59 | 72.57 | 16.02 |
| ADS3.1.2 | 91.49 | 91.88 | 93.07 | 92.15 | 72.57 | 19.58 |
| ADS3.1.3 | 93.91 | 94.26 | 94.30 | 94.16 | 72.57 | 21.59 |
| ADS3.1.4 | 96.97 | 96.43 | 96.42 | 96.61 | 72.57 | 24.04 |
| ADS3.1.5 | 97.88 | 97.50 | 98.16 | 97.85 | 72.57 | 25.28 |
| ADS3.2.1 | 96.63 | 96.48 | 96.84 | 96.65 | 72.57 | 24.08 |
| ADS3.2.2 | 101.05 | 101.40 | 101.61 | 101.35 | 72.57 | 28.78 |
| ADS3.2.3 | 98.16 | 98.27 | 99.24 | 98.56 | 72.57 | 25.99 |
| ADS3.2.4 | 95.00 | 96.71 | 95.09 | 95.60 | 72.57 | 23.03 |
| ADS3.2.5 | 96.24 | 96.13 | 96.12 | 96.16 | 72.57 | 23.59 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.1 y 13.

Tabla XXXI. Coordenada a* y diferencia de coordenada (da*), utilizando como referencia ATNT.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | da* |
|--------------|---------|-------|-------|----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 4.05 | 4.21 | 3.55 | 3.94 | 14.16 | -10.22 |
| ADS1.1.2 | 5.14 | 5.34 | 5.25 | 5.24 | 14.16 | -8.92 |
| ADS1.1.3 | 4.64 | 4.91 | 4.90 | 4.82 | 14.16 | -9.34 |
| ADS1.1.4 | 3.66 | 3.66 | 3.51 | 3.61 | 14.16 | -10.55 |
| ADS1.1.5 | 3.52 | 3.56 | 3.56 | 3.55 | 14.16 | -10.61 |
| ADS1.2.1 | 2.15 | 2.15 | 2.21 | 2.17 | 14.16 | -11.99 |
| ADS1.2.2 | 2.22 | 2.22 | 2.25 | 2.23 | 14.16 | -11.93 |
| ADS1.2.3 | 2.21 | 2.13 | 2.28 | 2.21 | 14.16 | -11.95 |
| ADS1.2.4 | 1.85 | 2.24 | 1.71 | 1.93 | 14.16 | -12.23 |
| ADS1.2.5 | 2.43 | 2.45 | 2.40 | 2.43 | 14.16 | -11.73 |
| ADS2.1.1 | 15.66 | 15.56 | 13.59 | 14.94 | 14.16 | 0.78 |
| ADS2.1.2 | 13.97 | 15.55 | 15.49 | 15.00 | 14.16 | 0.84 |
| ADS2.1.3 | 14.69 | 14.54 | 15.38 | 14.87 | 14.16 | 0.71 |
| ADS2.1.4 | 13.70 | 13.79 | 13.29 | 13.59 | 14.16 | -0.57 |
| ADS2.1.5 | 20.94 | 21.83 | 21.71 | 21.49 | 14.16 | 7.33 |
| ADS2.2.1 | 5.42 | 6.92 | 6.90 | 6.41 | 14.16 | -7.75 |
| ADS2.2.2 | 12.00 | 12.80 | 11.91 | 12.24 | 14.16 | -1.92 |
| ADS2.2.3 | 13.49 | 14.21 | 12.79 | 13.50 | 14.16 | -0.66 |
| ADS2.2.4 | 13.73 | 12.73 | 14.38 | 13.61 | 14.16 | -0.55 |
| ADS2.2.5 | 8.38 | 7.48 | 7.00 | 7.62 | 14.16 | -6.54 |
| ADS3.1.1 | 10.26 | 8.97 | 9.43 | 9.55 | 14.16 | -4.61 |
| ADS3.1.2 | 6.93 | 7.00 | 6.72 | 6.88 | 14.16 | -7.28 |
| ADS3.1.3 | 5.99 | 6.05 | 6.14 | 6.06 | 14.16 | -8.10 |
| ADS3.1.4 | 5.83 | 6.16 | 6.16 | 6.05 | 14.16 | -8.11 |
| ADS3.1.5 | 7.45 | 7.66 | 7.18 | 7.43 | 14.16 | -6.73 |
| ADS3.2.1 | 4.52 | 4.33 | 4.44 | 4.43 | 14.16 | -9.73 |
| ADS3.2.2 | 3.81 | 3.69 | 3.46 | 3.65 | 14.16 | -10.51 |
| ADS3.2.3 | 4.52 | 4.27 | 4.16 | 4.32 | 14.16 | -9.84 |
| ADS3.2.4 | 5.85 | 5.42 | 5.77 | 5.68 | 14.16 | -8.48 |
| ADS3.2.5 | 6.16 | 6.20 | 6.44 | 6.27 | 14.16 | -7.89 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.2 y 13.

Tabla XXXII. Coordenada b* y diferencia de coordenada (db*), utilizando como referencia ATNT.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | Db* |
|--------------|---------|--------|--------|----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | -3.51 | -3.68 | -3.48 | -3.56 | -11.95 | 8.39 |
| ADS1.1.2 | -4.45 | -3.74 | -3.83 | -4.01 | -11.95 | 7.94 |
| ADS1.1.3 | -4.33 | -4.86 | -4.80 | -4.66 | -11.95 | 7.29 |
| ADS1.1.4 | -4.37 | -4.44 | -4.06 | -4.29 | -11.95 | 7.66 |
| ADS1.1.5 | -4.30 | -4.14 | -4.00 | -4.15 | -11.95 | 7.80 |
| ADS1.2.1 | -2.87 | -3.05 | -2.71 | -2.88 | -11.95 | 9.07 |
| ADS1.2.2 | -2.91 | -3.00 | -3.13 | -3.01 | -11.95 | 8.94 |
| ADS1.2.3 | -2.77 | -2.81 | -2.89 | -2.82 | -11.95 | 9.13 |
| ADS1.2.4 | -2.23 | -1.71 | -2.06 | -2.00 | -11.95 | 9.95 |
| ADS1.2.5 | -2.36 | -1.75 | -2.44 | -2.18 | -11.95 | 9.77 |
| ADS2.1.1 | -7.56 | -6.83 | -8.14 | -7.51 | -11.95 | 4.44 |
| ADS2.1.2 | -23.17 | -22.42 | -22.41 | -22.67 | -11.95 | -10.72 |
| ADS2.1.3 | -8.83 | -8.69 | -8.34 | -8.62 | -11.95 | 3.33 |
| ADS2.1.4 | -6.39 | -6.59 | -5.59 | -6.19 | -11.95 | 5.76 |
| ADS2.1.5 | -7.12 | -6.38 | -6.33 | -6.61 | -11.95 | 5.34 |
| ADS2.2.1 | -10.13 | -10.25 | -10.25 | -10.21 | -11.95 | 1.74 |
| ADS2.2.2 | -6.08 | -6.59 | -5.93 | -6.20 | -11.95 | 5.75 |
| ADS2.2.3 | -4.51 | -4.76 | -4.08 | -4.45 | -11.95 | 7.50 |
| ADS2.2.4 | -4.54 | -4.44 | -4.69 | -4.56 | -11.95 | 7.39 |
| ADS2.2.5 | -2.56 | -2.22 | -2.33 | -2.37 | -11.95 | 9.58 |
| ADS3.1.1 | 1.70 | 0.96 | 1.25 | 1.30 | -11.95 | 13.25 |
| ADS3.1.2 | 1.30 | 1.15 | 0.38 | 0.94 | -11.95 | 12.89 |
| ADS3.1.3 | -0.26 | -0.42 | -0.33 | -0.34 | -11.95 | 11.61 |
| ADS3.1.4 | -1.44 | -1.31 | -1.31 | -1.35 | -11.95 | 10.60 |
| ADS3.1.5 | -3.27 | -2.98 | -3.07 | -3.11 | -11.95 | 8.84 |
| ADS3.2.1 | 2.18 | 2.35 | 2.43 | 2.32 | -11.95 | 14.27 |
| ADS3.2.2 | -1.21 | -1.01 | -0.54 | -0.92 | -11.95 | 11.03 |
| ADS3.2.3 | 0.11 | 0.58 | 0.27 | 0.32 | -11.95 | 12.27 |
| ADS3.2.4 | -2.29 | -1.81 | -2.15 | -2.08 | -11.95 | 9.87 |
| ADS3.2.5 | -1.81 | -1.78 | -2.26 | -1.95 | -11.95 | 10.00 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.3 y 13.

Tabla XXXIII. Coordenada C* y diferencia de coordenada de color (dC*), utilizando como referencia ATN.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | dC* |
|--------------|---------|-------|-------|----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 5.36 | 5.59 | 4.97 | 5.31 | 18.54 | -13.23 |
| ADS1.1.2 | 6.80 | 6.52 | 6.50 | 6.60 | 18.54 | -11.94 |
| ADS1.1.3 | 6.35 | 6.91 | 6.85 | 6.70 | 18.54 | -11.84 |
| ADS1.1.4 | 5.70 | 5.76 | 5.37 | 5.61 | 18.54 | -12.93 |
| ADS1.1.5 | 5.56 | 5.46 | 5.35 | 5.46 | 18.54 | -13.08 |
| ADS1.2.1 | 3.59 | 3.73 | 3.50 | 3.60 | 18.54 | -14.94 |
| ADS1.2.2 | 3.65 | 3.73 | 3.85 | 3.75 | 18.54 | -14.79 |
| ADS1.2.3 | 3.55 | 3.52 | 3.68 | 3.58 | 18.54 | -14.96 |
| ADS1.2.4 | 2.89 | 2.82 | 2.67 | 2.78 | 18.54 | -15.76 |
| ADS1.2.5 | 3.39 | 3.01 | 3.43 | 3.26 | 18.54 | -15.28 |
| ADS2.1.1 | 17.39 | 16.99 | 15.85 | 16.72 | 18.54 | -1.82 |
| ADS2.1.2 | 27.06 | 27.28 | 27.24 | 27.18 | 18.54 | 8.64 |
| ADS2.1.3 | 17.14 | 16.94 | 17.49 | 17.19 | 18.54 | -1.35 |
| ADS2.1.4 | 15.12 | 15.29 | 14.42 | 14.94 | 18.54 | -3.60 |
| ADS2.1.5 | 22.11 | 22.74 | 22.61 | 22.49 | 18.54 | 3.95 |
| ADS2.2.1 | 11.49 | 12.37 | 12.36 | 12.06 | 18.54 | -6.48 |
| ADS2.2.2 | 13.46 | 14.40 | 13.30 | 13.72 | 18.54 | -4.82 |
| ADS2.2.3 | 14.22 | 14.98 | 13.42 | 14.21 | 18.54 | -4.33 |
| ADS2.2.4 | 14.46 | 13.48 | 15.12 | 14.36 | 18.54 | -4.18 |
| ADS2.2.5 | 8.76 | 7.80 | 7.38 | 7.98 | 18.54 | -10.56 |
| ADS3.1.1 | 10.40 | 9.02 | 9.51 | 9.64 | 18.54 | -8.90 |
| ADS3.1.2 | 7.05 | 7.09 | 6.73 | 6.95 | 18.54 | -11.59 |
| ADS3.1.3 | 6.00 | 6.06 | 6.15 | 6.07 | 18.54 | -12.47 |
| ADS3.1.4 | 6.00 | 6.30 | 6.30 | 6.20 | 18.54 | -12.34 |
| ADS3.1.5 | 8.14 | 8.22 | 7.81 | 8.05 | 18.54 | -10.49 |
| ADS3.2.1 | 5.02 | 4.93 | 5.06 | 5.00 | 18.54 | -13.54 |
| ADS3.2.2 | 4.00 | 3.83 | 3.50 | 3.77 | 18.54 | -14.77 |
| ADS3.2.3 | 4.52 | 4.31 | 4.17 | 4.33 | 18.54 | -14.21 |
| ADS3.2.4 | 6.28 | 5.72 | 6.16 | 6.05 | 18.54 | -12.49 |
| ADS3.2.5 | 6.42 | 6.45 | 6.83 | 6.56 | 18.54 | -11.98 |

Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.4, 6 y 13.

Tabla XXXIV. Tonalidad (H^*) y diferencia de coordenada (dH^*), utilizando como referencia ATNT.

| Nomenclatura | Muestra | | | | referencia | dH^* |
|--------------|---------|--------|--------|----------|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | Promedio | | |
| ADS1.1.1 | 319.04 | 318.85 | 315.57 | 317.90 | 319.86 | 0.44 |
| ADS1.1.2 | 319.14 | 324.98 | 323.84 | 322.61 | 319.86 | 0.12 |
| ADS1.1.3 | 317.01 | 315.26 | 315.60 | 315.93 | 319.86 | 0.56 |
| ADS1.1.4 | 309.99 | 309.53 | 310.85 | 310.08 | 319.86 | 1.65 |
| ADS1.1.5 | 309.31 | 310.69 | 311.64 | 310.54 | 319.86 | 1.54 |
| ADS1.2.1 | 306.83 | 305.14 | 309.36 | 307.03 | 319.86 | 1.73 |
| ADS1.2.2 | 307.36 | 306.47 | 305.80 | 306.50 | 319.86 | 1.85 |
| ADS1.2.3 | 308.62 | 307.13 | 308.22 | 308.01 | 319.86 | 1.57 |
| ADS1.2.4 | 309.64 | 322.56 | 309.65 | 314.03 | 319.86 | 0.41 |
| ADS1.2.5 | 315.76 | 324.58 | 314.57 | 318.02 | 319.86 | 0.54 |
| ADS2.1.1 | 334.22 | 336.30 | 329.08 | 333.31 | 319.86 | 4.12 |
| ADS2.1.2 | 301.09 | 304.74 | 304.66 | 303.50 | 319.86 | 6.39 |
| ADS2.1.3 | 328.98 | 329.14 | 331.55 | 329.90 | 319.86 | 3.12 |
| ADS2.1.4 | 335.01 | 334.45 | 337.20 | 335.52 | 319.86 | 4.53 |
| ADS2.1.5 | 341.23 | 343.72 | 343.75 | 342.90 | 319.86 | 8.17 |
| ADS2.2.1 | 298.17 | 304.02 | 303.94 | 302.13 | 319.86 | 4.58 |
| ADS2.2.2 | 333.14 | 332.76 | 333.54 | 333.13 | 319.86 | 3.68 |
| ADS2.2.3 | 341.53 | 341.49 | 342.29 | 341.75 | 319.86 | 6.16 |
| ADS2.2.4 | 341.69 | 340.75 | 341.94 | 341.49 | 319.86 | 6.12 |
| ADS2.2.5 | 343.05 | 343.43 | 341.60 | 342.72 | 319.86 | 4.80 |
| ADS3.1.1 | 309.39 | 306.09 | 307.58 | 307.77 | 319.86 | 10.85 |
| ADS3.1.2 | 310.59 | 309.34 | 303.25 | 307.80 | 319.86 | 9.21 |
| ADS3.1.3 | 356.53 | 356.07 | 356.90 | 356.82 | 319.86 | 6.71 |
| ADS3.1.4 | 346.13 | 348.01 | 347.97 | 347.39 | 319.86 | 5.08 |
| ADS3.1.5 | 336.33 | 338.73 | 336.84 | 337.31 | 319.86 | 3.68 |
| ADS3.2.1 | 325.69 | 328.45 | 328.74 | 327.64 | 319.86 | 10.72 |
| ADS3.2.2 | 342.33 | 344.70 | 351.19 | 345.86 | 319.86 | 3.72 |
| ADS3.2.3 | 301.41 | 307.70 | 303.68 | 304.24 | 319.86 | 6.74 |
| ADS3.2.4 | 338.61 | 341.52 | 339.52 | 339.86 | 319.86 | 3.64 |
| ADS3.2.5 | 343.62 | 344.00 | 340.66 | 342.71 | 319.86 | 4.34 |

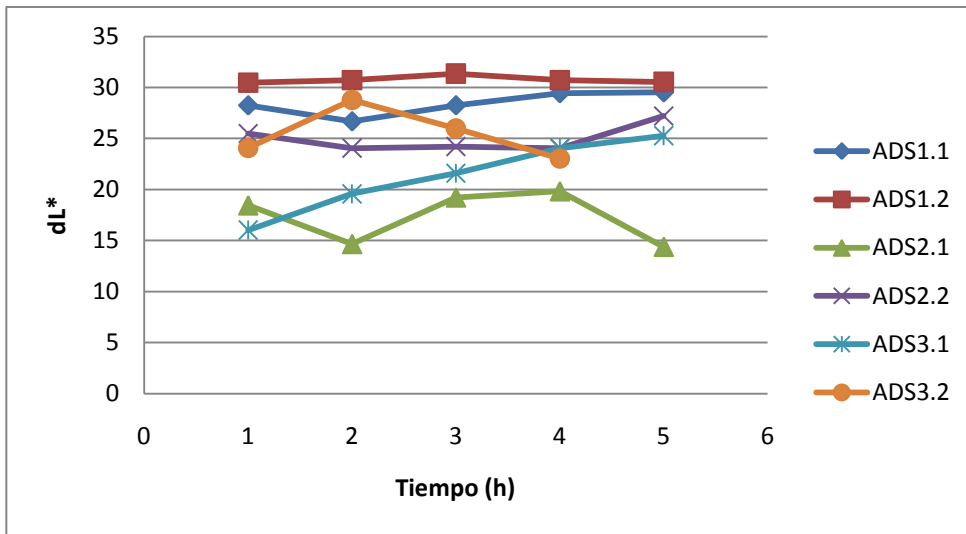
Fuente: Datos obtenidos del espectrofotómetro y ecuación No.5, 7 y 13.

Tabla XXXV. Diferencia de coordenadas de color (dE^*), utilizando como referencia ATNT.

| Nomenclatura | dE |
|--------------|-------|
| ADS1.1.1 | 31.19 |
| ADS1.1.2 | 29.23 |
| ADS1.1.3 | 30.64 |
| ADS1.1.4 | 32.20 |
| ADS1.1.5 | 32.33 |
| ADS1.2.1 | 33.98 |
| ADS1.2.2 | 34.15 |
| ADS1.2.3 | 34.78 |
| ADS1.2.4 | 34.53 |
| ADS1.2.5 | 34.15 |
| ADS2.1.1 | 18.99 |
| ADS2.1.2 | 18.19 |
| ADS2.1.3 | 19.53 |
| ADS2.1.4 | 20.66 |
| ADS2.1.5 | 17.02 |
| ADS2.2.1 | 26.69 |
| ADS2.2.2 | 24.81 |
| ADS2.2.3 | 25.35 |
| ADS2.2.4 | 25.16 |
| ADS2.2.5 | 29.58 |
| ADS3.1.1 | 21.30 |
| ADS3.1.2 | 24.54 |
| ADS3.1.3 | 25.82 |
| ADS3.1.4 | 27.49 |
| ADS3.1.5 | 27.61 |
| ADS3.2.1 | 29.63 |
| ADS3.2.2 | 32.57 |
| ADS3.2.3 | 30.38 |
| ADS3.2.4 | 26.45 |
| ADS3.2.5 | 26.81 |

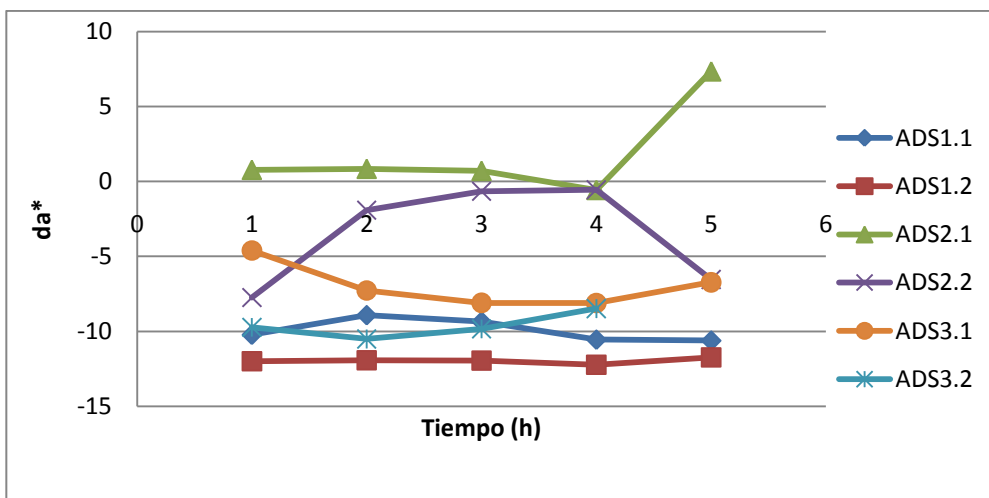
Fuente: Ecuación No.8.

Figura 46. Gráfica de diferencia de luminosidad (dL^*) en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT.



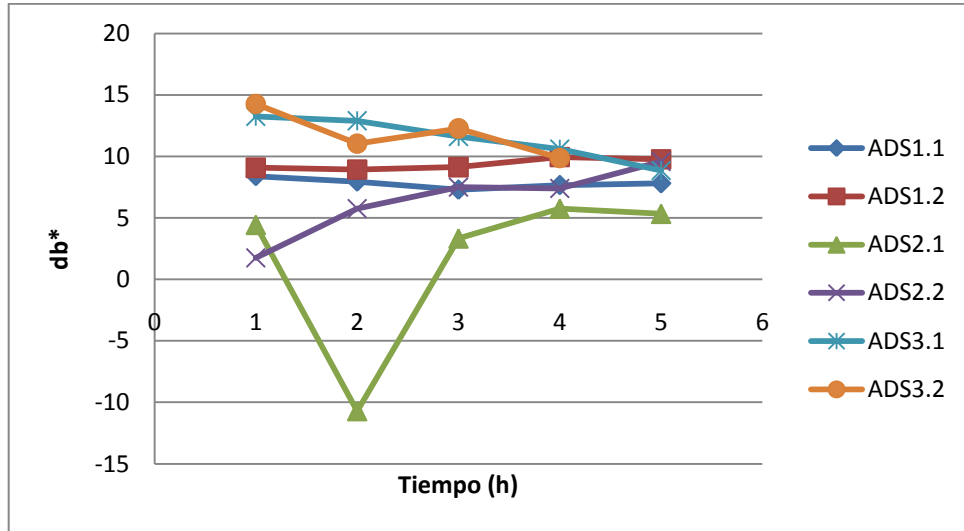
Fuente: Tabla XXX.

Figura 47. Gráfica de diferencia de a^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT.



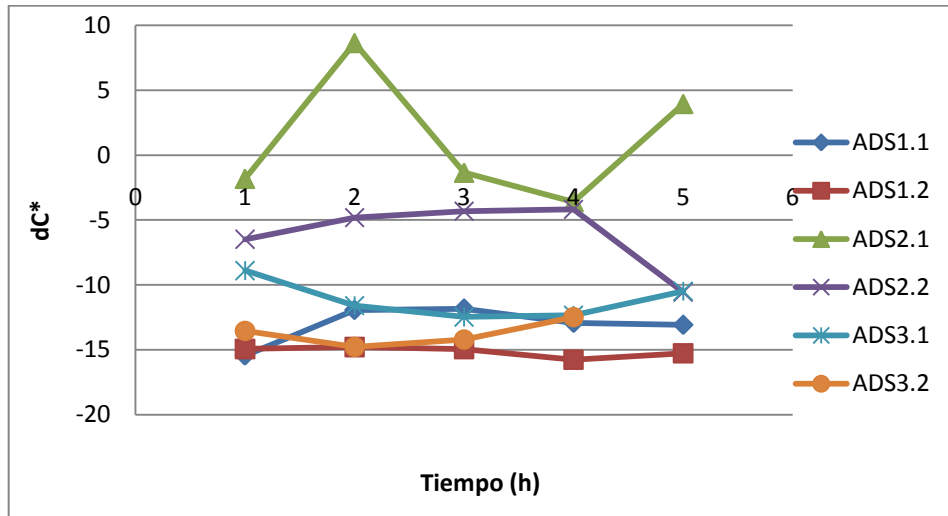
Fuente: Tabla XXXI.

Figura 48. Gráfica de diferencia de b^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT.



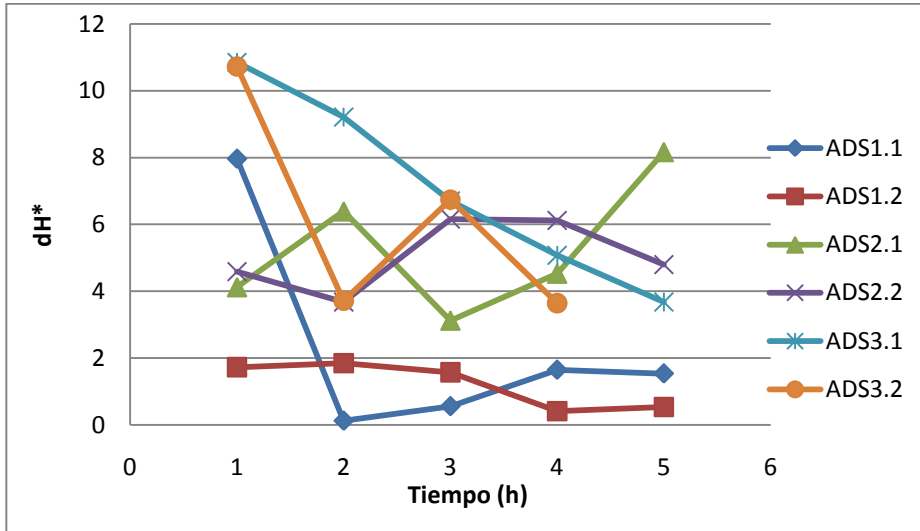
Fuente: Tabla XXXII.

Figura 49. Gráfica de diferencia de C^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT.



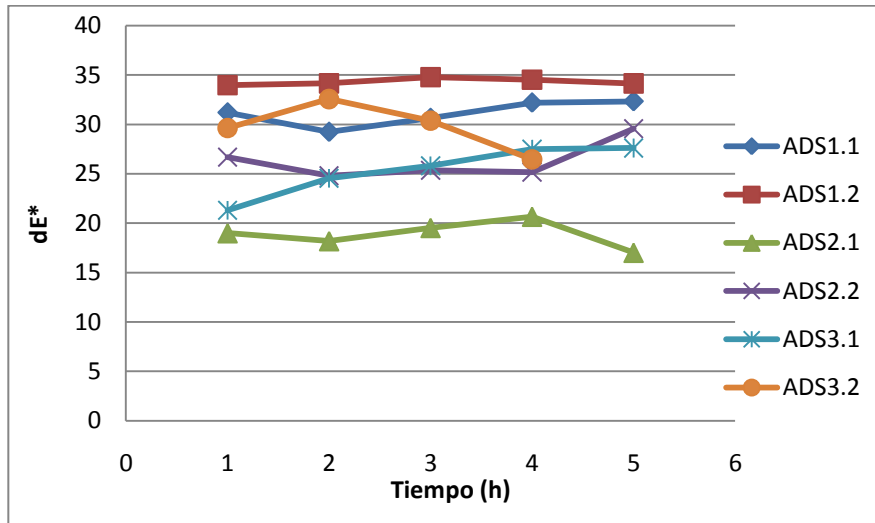
Fuente: Tabla XXXIII.

Figura 50. Gráfica de diferencia de tonalidad dH^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT.



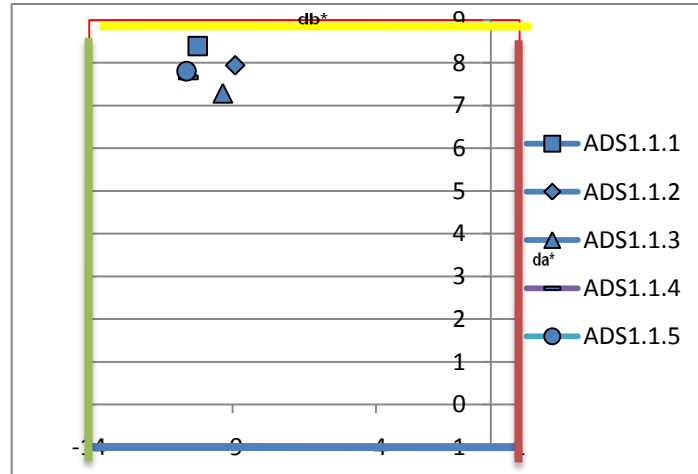
Fuente: Tabla XXXIV..

Figura 51. Gráfica de diferencia de color dE^* , en función del tiempo de agitación, dosis y tipo de adsorbente, referencia ATNT.



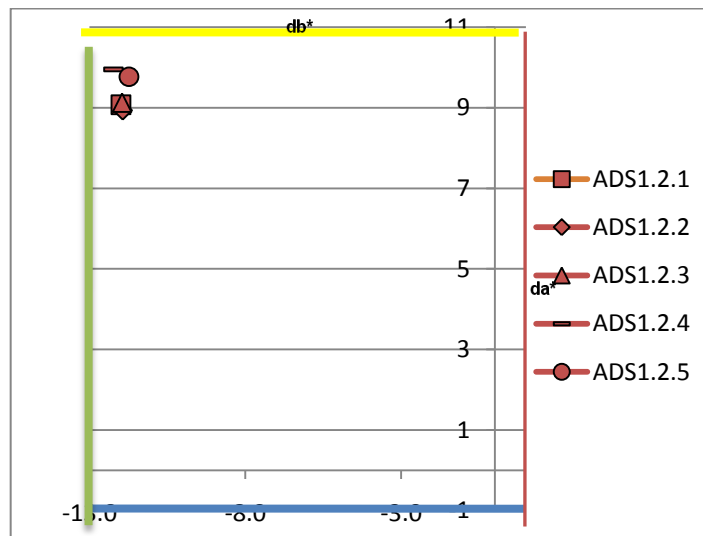
Fuente: Tabla XXXV.

Figura 52. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo I 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT.



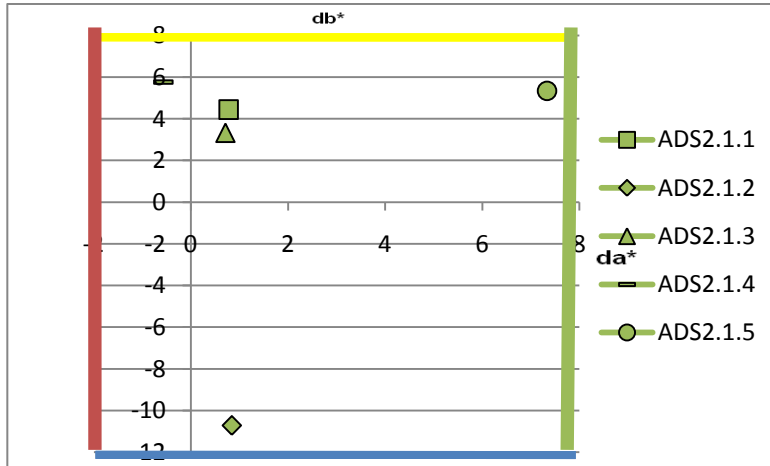
Fuente: Tabla XXXI y XXXII.

Figura 53. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo I 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT.



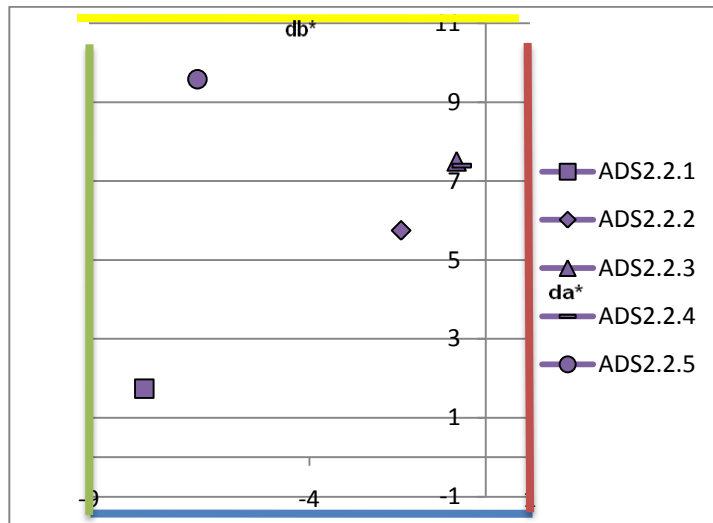
Fuente: Tabla XXXI y XXXII.

Figura 54. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo II 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT.



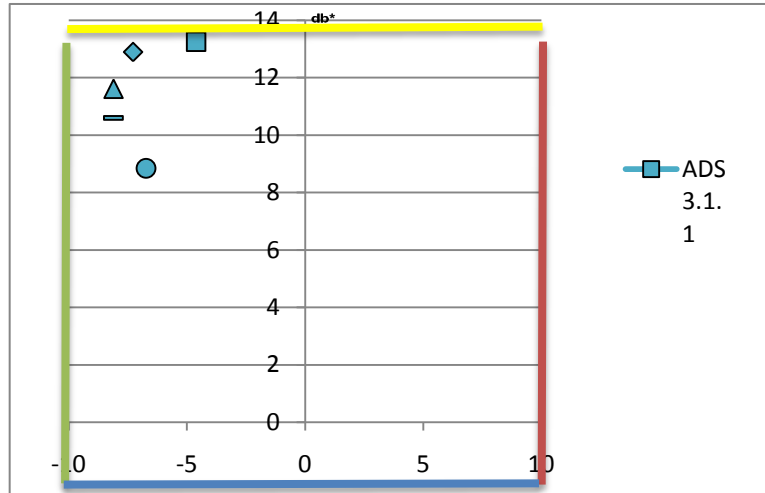
Fuente: Tabla XXXI y XXXII.

Figura 55. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo II 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT.



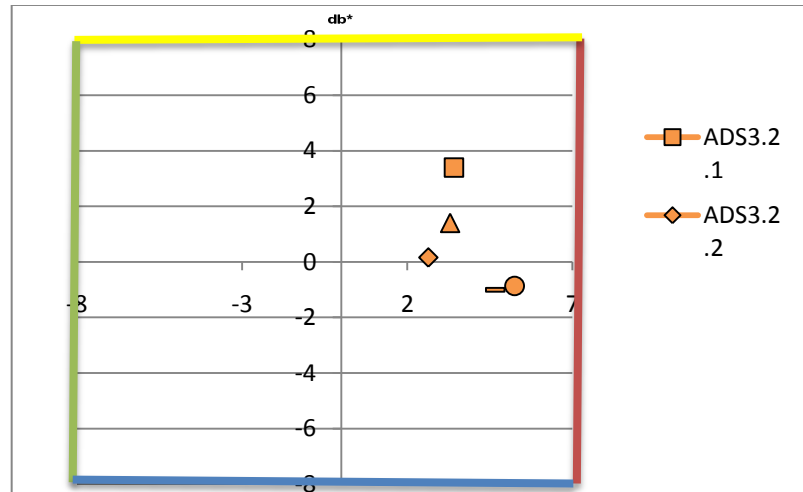
Fuente: Tabla XXXI y XXXII.

Figura 56. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo III 18g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT.



Fuente: Tabla XXXI y XXXII.

Figura 57. Gráfica de diferencia de a^* y diferencia de b^* del arrastre del disolvente tratado con adsorbente tipo III 36g/L a diferentes tiempos de agitación, referencia ATNT.



Fuente: Tabla XXXI y XXXII.

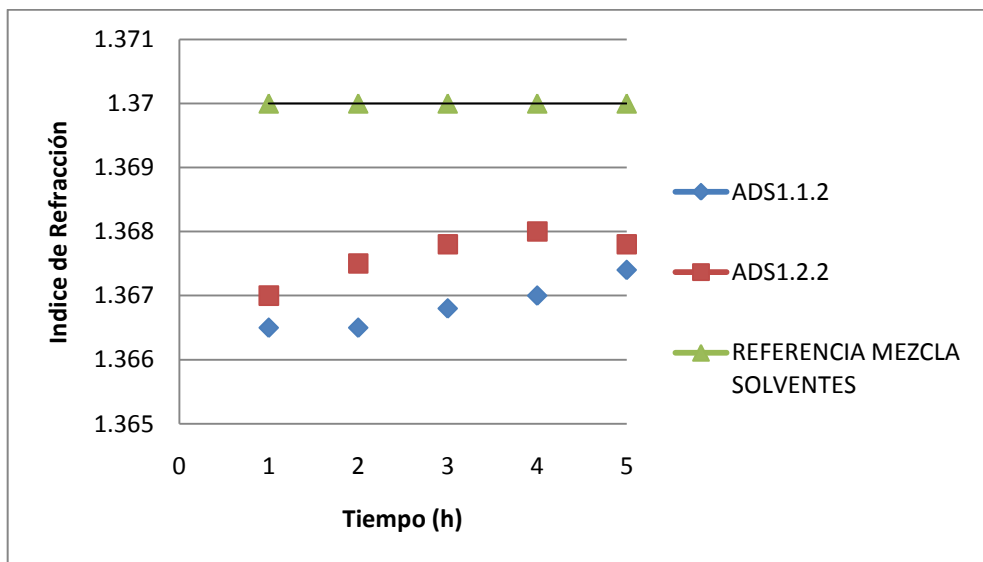
Apéndice 3. Índice de Refracción

Tabla XXXVI. Índice de refracción.

| Muestra | Índice de refracción |
|----------|----------------------|
| ADS1.1.1 | 1.3665 |
| ADS1.1.2 | 1.3665 |
| ADS1.1.3 | 1.3668 |
| ADS1.1.4 | 1.367 |
| ADS1.1.5 | 1.3674 |
| ADS1.2.1 | 1.367 |
| ADS1.2.2 | 1.3675 |
| ADS1.2.3 | 1.3678 |
| ADS1.2.4 | 1.368 |
| ADS1.2.5 | 1.3678 |

Fuente: Datos del refractómetro.

Figura 58. Índice de refracción en función del tratamiento.



Fuente: Tabla XXXVI.

Apéndice 4. Ciclos de reutilización del adsorbente.

Tabla XXXVII. Luminosidad (L^*) en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4.

| Número de Ciclos | %Sr | L^* | | | | Lr | dL* |
|------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | X | | |
| 1 | 100 | 103.35 | 103.17 | 103.20 | 103.24 | 104.36 | -1.12 |
| 2 | 100 | 100.95 | 101.42 | 101.20 | 101.19 | 104.36 | -3.17 |
| 2 | 90 | 102.07 | 102.10 | 102.09 | 102.09 | 104.36 | -2.27 |
| 2 | 80 | 102.20 | 102.24 | 102.40 | 102.28 | 104.36 | -2.08 |
| 2 | 70 | 102.80 | 102.24 | 102.53 | 102.52 | 104.36 | -1.84 |
| 2 | 60 | 102.90 | 102.53 | 102.70 | 102.71 | 104.36 | -1.65 |
| 2 | 50 | 103.74 | 105.63 | 104.70 | 104.69 | 104.36 | 0.33 |
| 3 | 100 | 97.74 | 98.71 | 98.20 | 98.22 | 104.36 | -6.14 |
| 3 | 90 | 100.47 | 99.83 | 100.02 | 100.11 | 104.36 | -4.25 |
| 3 | 80 | 99.68 | 98.68 | 99.18 | 99.18 | 104.36 | -5.18 |
| 3 | 70 | 100.19 | 100.09 | 100.15 | 100.14 | 104.36 | -4.22 |
| 3 | 60 | 101.11 | 100.25 | 100.65 | 100.67 | 104.36 | -3.69 |
| 3 | 50 | 101.20 | 101.15 | 101.18 | 101.18 | 104.36 | -3.18 |
| 3 | 40 | 101.25 | 101.22 | 101.25 | 101.24 | 104.36 | -3.12 |
| 3 | 30 | 101.34 | 101.30 | 101.30 | 101.31 | 104.36 | -3.05 |
| 4 | 100 | 92.20 | 92.1 | 92.20 | 92.15 | 104.36 | -12.21 |
| 4 | 80 | 93.61 | 93.70 | 93.60 | 93.64 | 104.36 | -10.72 |
| 4 | 60 | 100.3 | 100.2 | 100.3 | 100.27 | 104.36 | -4.09 |
| 4 | 40 | 100.91 | 100.9 | 100.81 | 100.87 | 104.36 | -3.49 |
| 4 | 20 | 101.3 | 101.2 | 101.4 | 101.30 | 104.36 | -3.06 |
| 4 | 10 | 102.9 | 102.29 | 102.65 | 102.61 | 104.36 | -1.75 |

Fuente: Datos del espectrofotómetro y ecuación No. 1 y 13

Tabla XXXVIII. Coordenda a* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4.

| Número de ciclos | %Sr | a* | | | | ar | da* |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | X | | |
| 1 | 100 | 1.81 | 1.91 | 1.85 | 1.86 | 1.02 | 0.84 |
| 2 | 100 | 3.48 | 3.47 | 3.48 | 3.48 | 1.02 | 2.46 |
| 2 | 90 | 3.03 | 3.35 | 3.20 | 3.19 | 1.02 | 2.17 |
| 2 | 80 | 2.90 | 3.04 | 3.05 | 3.00 | 1.02 | 1.98 |
| 2 | 70 | 2.88 | 2.99 | 2.90 | 2.92 | 1.02 | 1.90 |
| 2 | 60 | 2.83 | 2.80 | 2.80 | 2.81 | 1.02 | 1.79 |
| 2 | 50 | 2.20 | 2.54 | 2.35 | 2.36 | 1.02 | 1.34 |
| 3 | 100 | 3.99 | 4.07 | 4.00 | 4.02 | 1.02 | 3.00 |
| 3 | 90 | 2.57 | 2.95 | 2.78 | 2.77 | 1.02 | 1.75 |
| 3 | 80 | 2.46 | 2.44 | 2.44 | 2.45 | 1.02 | 1.43 |
| 3 | 70 | 2.29 | 2.21 | 2.22 | 2.24 | 1.02 | 1.22 |
| 3 | 60 | 2.16 | 2.14 | 2.15 | 2.15 | 1.02 | 1.13 |
| 3 | 50 | 2.10 | 2.12 | 2.09 | 2.10 | 1.02 | 1.08 |
| 3 | 40 | 2.04 | 2.05 | 2.00 | 2.03 | 1.02 | 1.01 |
| 3 | 30 | 1.58 | 1.57 | 1.58 | 1.58 | 1.02 | 0.56 |
| 4 | 100 | 6.3 | 6.25 | 6.20 | 6.25 | 1.02 | 5.23 |
| 4 | 80 | 5.67 | 5.70 | 5.65 | 5.67 | 1.02 | 4.65 |
| 4 | 60 | 2.68 | 2.69 | 2.63 | 2.67 | 1.02 | 1.65 |
| 4 | 40 | 2.26 | 2.25 | 2.15 | 2.22 | 1.02 | 1.20 |
| 4 | 20 | 1.9 | 1.97 | 1.95 | 1.94 | 1.02 | 0.92 |
| 4 | 10 | 1.34 | 1.3 | 1.35 | 1.33 | 1.02 | 0.31 |

Fuente: Datos del espectrofotómetro y ecuación No. 2 y 13

Tabla XXXIX. Coordenada b* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4.

| Número de ciclos | %Sr | b* | | | | br | db* |
|------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | X | | |
| 1 | 100 | -2.71 | -2.34 | -2.40 | -2.48 | -1.08 | -1.40 |
| 2 | 100 | -4.93 | -5.04 | -5.00 | -4.99 | -1.08 | -3.91 |
| 2 | 90 | -5.03 | -5.23 | -5.10 | -5.12 | -1.08 | -4.04 |
| 2 | 80 | -4.90 | -4.84 | -4.90 | -4.88 | -1.08 | -3.80 |
| 2 | 70 | -4.73 | -4.82 | -4.80 | -4.78 | -1.08 | -3.70 |
| 2 | 60 | -3.77 | -4.24 | -4.05 | -4.02 | -1.08 | -2.94 |
| 2 | 50 | -3.34 | -3.66 | -3.50 | -3.50 | -1.08 | -2.42 |
| 3 | 100 | -4.97 | -5.14 | -5.05 | -5.05 | -1.08 | -3.97 |
| 3 | 90 | -3.64 | -3.90 | -3.80 | -3.78 | -1.08 | -2.70 |
| 3 | 80 | -3.00 | -3.22 | -3.10 | -3.11 | -1.08 | -2.03 |
| 3 | 70 | -3.41 | -3.41 | -3.40 | -3.41 | -1.08 | -2.33 |
| 3 | 60 | -3.42 | -3.36 | -3.40 | -3.39 | -1.08 | -2.31 |
| 3 | 50 | -3.20 | -3.19 | -3.26 | -3.22 | -1.08 | -2.14 |
| 3 | 40 | -2.80 | -2.70 | -2.54 | -2.68 | -1.08 | -1.60 |
| 3 | 30 | -2.24 | -2.20 | -2.25 | -2.23 | -1.08 | -1.15 |
| 4 | 100 | -5.48 | -5.45 | -5.42 | -5.45 | -1.08 | -4.37 |
| 4 | 80 | -6.36 | -6.30 | -6.35 | -6.34 | -1.08 | -5.26 |
| 4 | 60 | -3.23 | -3.22 | -3.2 | -3.22 | -1.08 | -2.14 |
| 4 | 40 | -2.8 | -2.7 | -2.8 | -2.77 | -1.08 | -1.69 |
| 4 | 20 | -2.5 | -2.4 | -2.5 | -2.47 | -1.08 | -1.39 |
| 4 | 10 | -1.96 | -2.11 | -2 | -2.02 | -1.08 | -0.94 |

Fuente: Datos del espectrofotómetro y ecuación No. 3 y 13

Tabla XL. Coordenada C* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4.

| Número de ciclos | %Sr | C* | | | | Cr | dC* |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | X | | |
| 1 | 100 | 3.26 | 3.02 | 3.03 | 3.10 | 1.49 | 1.61 |
| 2 | 100 | 6.03 | 6.12 | 6.09 | 6.08 | 1.49 | 4.59 |
| 2 | 90 | 5.87 | 6.21 | 6.02 | 6.03 | 1.49 | 4.54 |
| 2 | 80 | 5.69 | 5.72 | 5.77 | 5.73 | 1.49 | 4.24 |
| 2 | 70 | 5.54 | 5.67 | 5.61 | 5.61 | 1.49 | 4.12 |
| 2 | 60 | 4.71 | 5.08 | 4.92 | 4.90 | 1.49 | 3.41 |
| 2 | 50 | 4.00 | 4.46 | 4.22 | 4.22 | 1.49 | 2.73 |
| 3 | 100 | 6.37 | 6.56 | 6.44 | 6.46 | 1.49 | 4.97 |
| 3 | 90 | 4.46 | 4.89 | 4.71 | 4.68 | 1.49 | 3.19 |
| 3 | 80 | 3.88 | 4.04 | 3.95 | 3.95 | 1.49 | 2.46 |
| 3 | 70 | 4.11 | 4.06 | 4.06 | 4.08 | 1.49 | 2.59 |
| 3 | 60 | 4.04 | 3.98 | 4.02 | 4.02 | 1.49 | 2.53 |
| 3 | 50 | 3.83 | 3.83 | 3.87 | 3.84 | 1.49 | 2.35 |
| 3 | 40 | 3.46 | 3.39 | 3.23 | 3.36 | 1.49 | 1.87 |
| 3 | 30 | 2.74 | 2.70 | 2.75 | 2.73 | 1.49 | 1.24 |
| 4 | 100 | 8.35 | 8.29 | 8.24 | 8.29 | 1.49 | 6.80 |
| 4 | 80 | 8.52 | 8.50 | 8.50 | 8.51 | 1.49 | 7.02 |
| 4 | 60 | 4.20 | 4.20 | 4.14 | 4.18 | 1.49 | 2.69 |
| 4 | 40 | 3.60 | 3.51 | 3.53 | 3.55 | 1.49 | 2.06 |
| 4 | 20 | 3.14 | 3.10 | 3.17 | 3.14 | 1.49 | 1.65 |
| 4 | 10 | 2.37 | 2.48 | 2.41 | 2.42 | 1.49 | 0.93 |

Fuente: Datos del espectrofotómetro y ecuación No. 4, 6 y 13

Tabla XLI. Tonalidad H* en función del ciclo y porcentaje de disolvente tratado. ADS1.2.4.

| Número de corrida | %Sr | H* | | | | Hr | dH* |
|-------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | X | | |
| 1 | 100 | 303.71 | 309.20 | 307.60 | 306.76 | 313.04 | 0.27 |
| 2 | 100 | 305.19 | 304.52 | 304.81 | 304.84 | 313.04 | 0.49 |
| 2 | 90 | 301.03 | 302.61 | 302.08 | 301.92 | 313.04 | 0.63 |
| 2 | 80 | 300.59 | 302.10 | 301.87 | 301.52 | 313.04 | 0.63 |
| 2 | 70 | 301.31 | 301.78 | 301.11 | 301.40 | 313.04 | 0.63 |
| 2 | 60 | 306.87 | 303.41 | 304.63 | 304.93 | 313.04 | 0.43 |
| 2 | 50 | 303.34 | 304.73 | 303.85 | 304.00 | 313.04 | 0.44 |
| 3 | 100 | 308.73 | 308.35 | 308.36 | 308.48 | 313.04 | 0.34 |
| 3 | 90 | 305.20 | 307.08 | 306.16 | 306.17 | 313.04 | 0.37 |
| 3 | 80 | 309.33 | 307.13 | 30 | 308.20 | 313.04 | 0.26 |
| 3 | 70 | 303.86 | 302.92 | 303.11 | 303.30 | 313.04 | 0.46 |
| 3 | 60 | 302.25 | 302.46 | 302.28 | 302.33 | 313.04 | 0.49 |
| 3 | 50 | 303.25 | 303.58 | 302.64 | 303.15 | 313.04 | 0.45 |
| 3 | 40 | 306.05 | 307.18 | 308.19 | 307.12 | 313.04 | 0.27 |
| 3 | 30 | 305.17 | 305.49 | 305.05 | 305.23 | 313.04 | 0.30 |
| 4 | 100 | 318.96 | 318.89 | 318.82 | 318.89 | 313.04 | 0.42 |
| 4 | 80 | 311.69 | 312.11 | 311.64 | 311.81 | 313.04 | 0.27 |
| 4 | 60 | 309.66 | 309.85 | 309.39 | 309.63 | 313.04 | 0.22 |
| 4 | 40 | 308.88 | 309.78 | 307.49 | 308.72 | 313.04 | 0.23 |
| 4 | 20 | 307.21 | 309.35 | 307.93 | 308.16 | 313.04 | 0.23 |
| 4 | 10 | 304.33 | 301.61 | 303.99 | 303.29 | 313.04 | 0.34 |

Fuente: Datos del espectrofotómetro y ecuación No. 5, 7 y 13

Apéndice 5. Regresión Lineal

Tabla XLII. Coeficiente del modelo matemático que determina porcentaje de sólidos en función de las coordenadas de color a*.

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -.087 | .041 | | -2.097 | .069 |
| | a | .066 | .003 | .989 | 19.086 | .000 |

a. Dependent Variable: s

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

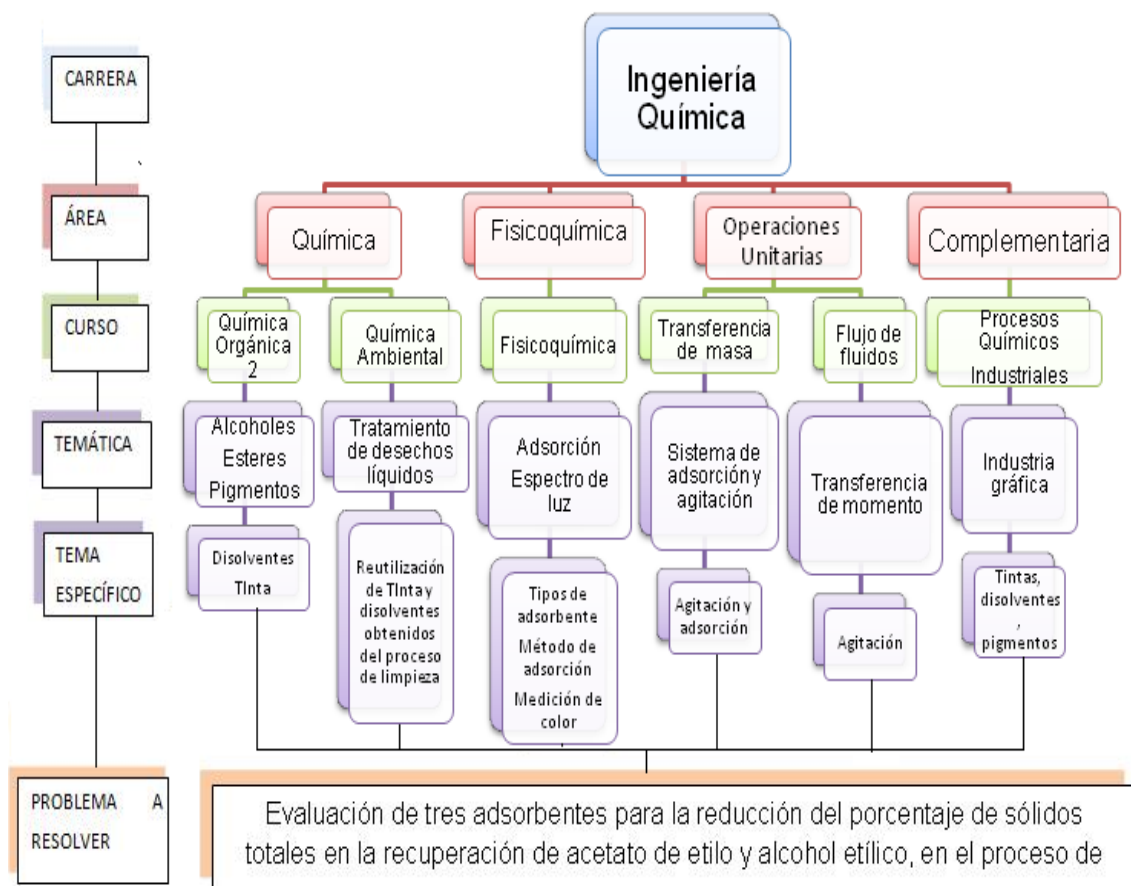
Tabla XLIII. Variables descartadas en el modelo matemático que determina porcentaje de sólidos en función de las coordenadas de color.

| Model | | Beta In | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics | | |
|-------|-----|--------------------|--------|------|---------------------|-------------------------|---------|-------------------|
| | | | | | | Tolerance | VIF | Minimum Tolerance |
| 1 | L | -.339 ^a | -1.969 | .090 | -.597 | .067 | 14.985 | .067 |
| | b | .155 ^a | 1.098 | .308 | .383 | .131 | 7.618 | .131 |
| | La | -.299 ^a | -.971 | .364 | -.344 | .029 | 34.992 | .029 |
| | Lb | -.058 ^a | -1.141 | .291 | -.396 | .992 | 1.008 | .992 |
| | ab | -.053 ^a | -1.033 | .336 | -.364 | .999 | 1.001 | .999 |
| | Lab | -.055 ^a | -1.066 | .322 | -.374 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | L2 | -.379 ^a | -2.176 | .066 | -.635 | .060 | 16.589 | .060 |
| | a2 | .108 ^a | .340 | .744 | .128 | .030 | 33.366 | .030 |
| | b2 | -.119 ^a | -.889 | .404 | -.318 | .154 | 6.513 | .154 |
| | L2a | -.135 ^a | -1.067 | .321 | -.374 | .165 | 6.065 | .165 |
| | L2b | -.059 ^a | -1.146 | .289 | -.398 | .989 | 1.011 | .989 |
| | La2 | -.073 ^a | -.115 | .912 | -.043 | .008 | 132.243 | .008 |
| | Lb2 | -.102 ^a | -1.003 | .349 | -.354 | .258 | 3.882 | .258 |
| | a2b | -.049 ^a | -.933 | .382 | -.333 | .997 | 1.003 | .997 |
| | ba2 | -.085 ^a | -.437 | .675 | -.163 | .079 | 12.631 | .079 |
| | L3 | -.406 ^a | -2.319 | .053 | -.659 | .057 | 17.657 | .057 |
| | a3 | .048 ^a | .278 | .789 | .105 | .101 | 9.862 | .101 |
| | b3 | -.060 ^a | -1.186 | .274 | -.409 | .999 | 1.001 | .999 |

Fuente: Programa de computación *SPSS Statics 17.0*

Apéndice 6. Requisitos académicos para la realización del proyecto.

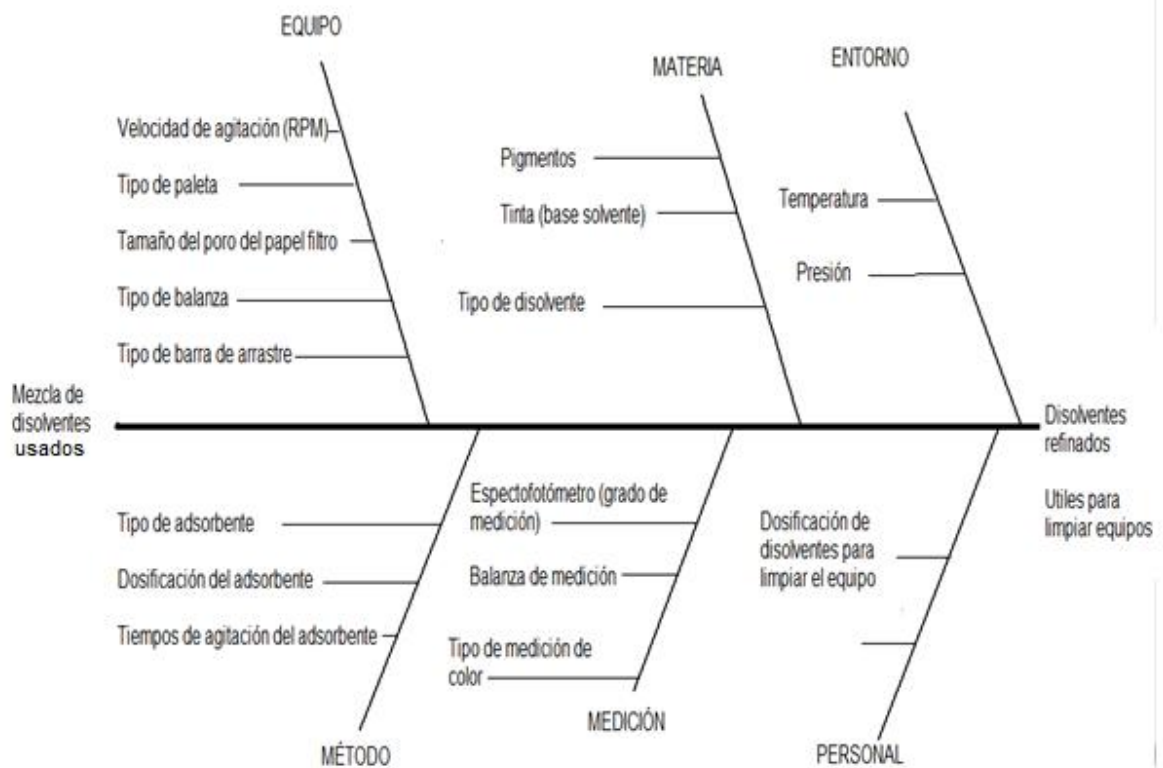
Figura 59. Requisitos académicos de la evaluación de tres adsorbentes para la reducción del porcentaje de sólidos totales en la recuperación de la mezcla de acetato de etilo/alcohol étlico, en el proceso de limpieza de equipo en la industria gráfica.



Fuente: Elaboración Propia

Apéndice 7. Diagrama de causa y efecto

Figura 60. Diagrama de Causa y Efecto de la evaluación de tres adsorbentes para la reducción del porcentaje de sólidos totales en la recuperación de la mezcla de acetato de etilo/alcohol etílico, en el proceso de limpieza de equipo en la industria gráfica.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXOS

Anexo 1. Características de los adsorbentes

Adsorbente tipo I

Aplicación

De amplio uso en la decoloración y purificación de jarabes, productos farmacéuticos y químicos finos.

Descripción

Carbón Activado Pulverizado de alta calidad, producido por activación química de maderas cuidadosamente seleccionadas. Se ha procesado para proporcionar una distribución del tamaño de poro con propiedades de adsorción excepcional para sustancias de alto peso molecular, especialmente controlado de manera de facilitar y optimizar la operación de filtración.

Especificaciones

| | |
|--------------------------------|-------------|
| Yodo, Índice de | 950mg/g min |
| Caramelo, poder decolorante de | 97% min |
| Cenizas | 6% máx. |
| Humedad, al empacar | 10% max |

Propiedades típicas

| | |
|-------------------|-------------------------|
| Densidad aparente | 0.3 g/cc |
| pH | 3 |
| Malla | 325 |
| Empaque | Bolsas de 20 kilogramos |

Certificado de grado alimenticio

Cumple con los requerimientos del *Food Chemicals Codex*, para carbón activado.

Certificación Kosher

Cumple con los requerimientos de uso para las aplicaciones alimenticias donde se requiere el certificado Kosher.

Adsorbente tipo II

Aplicación

De amplio uso en la decoloración y purificación de jarabes, productos farmacéuticos y químicos finos.

Descripción

Carbón activado en polvo con características de la madera o virutas de madera, en presencia de ácido fosfórico.

Especificaciones

- Materia prima: madera
- Malla: 325
- Empaque: Bolsas de 20kg.
- Certificado: Norma NSF/ ANSI 061.

Adsorbente tipo III

Aplicación

Elimina el color, sabor, olor y la turbidez de líquidos.

Descripción

Carbón activado en polvo con características de la cascara de coco.

Especificaciones

- Carbón activado 10 a 30% en peso
- Fibra, Celulosa 7 a 13% en peso
- Resina, Intercambio de Anión 0.5 a 1.5% en peso.
- Malla: 325
- Empaque: Bolsas de 20kg.

Propiedades

- *Aspecto* Húmedo, negro
- *Peso específico* > 1
- *Olor:* Inodoro
- *Densidad de embalaje* 28 a 32 kg/m³
- *Presión de vapor:* N / A
- *Tipo químico:* Mezcla
- *Solubilidad:* Insoluble
- *Estado físico:* Solido

Certificado

OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1919.1200)

Peligros por contacto

- Ojos Puede causar irritación mecánica leve.
- Piel El contacto prolongado o repetido puede causar irritación, sequedad y enrojecimiento.
- Ingestión El producto es prácticamente no tóxico si se ingiere.
- Inhalación Si se seca y dispersa puede causar irritación respiratoria. Evitar su uso en espacios confinados. Húmedo el carbono activado puede absorber y eliminar el oxígeno del aire provocando un riesgo grave para los trabajadores.

Primeros auxilios en caso de contacto

- Ojos Mantener abiertos los párpados y lavar los ojos con abundante agua durante al menos 15 minutos.
- Piel Lavar las áreas afectadas con agua y jabón.
- Ingestión Si la persona está plenamente consciente, dar 1 o 2 tazas de leche o agua para beber. Obtener atención médica inmediatamente.
- Inhalación Llevar a la persona de la fuente de exposición al aire fresco. Obtener atención médica si la irritación se desarrolla.

En caso de incendio:

Medios de extinción Use niebla de agua, polvo químico seco o CO₂. Agua para enfriar los recipientes expuestos al fuego. Los bomberos deben usar equipos autónomos de respiración *apparati* y equipo de protección completo. Aislar el fuego y negar la entrada innecesaria. Sumerja completamente con agua para enfriar y para prevenir la re-ignición. Quitar el producto de la construcción si es seguro hacerlo. Evite la generación de polvo si se seca el producto, mantenga húmedo con agua.

Precauciones de almacenamiento:

Recipientes cerrados en un lugar limpio, seco, ventilado lejos oxidantes fuertes, fuentes de ignición, materiales combustibles y calor.

Controles de ingeniería

- Gafas de seguridad de protección para los ojos al manejar producto a granel o la realización de la limpieza de derrames.
- Guantes de protección se recomienda para minimizar el contacto de la piel.
- Usar una bata de laboratorio para evitar la contaminación excesiva a la ropa personal.
- En caso de ventilación insuficiente, use un respirador aprobado para las partículas (por ejemplo, N95). Respiradores con suministro de aire puede ser necesaria para la entrada en espacios confinados donde el producto se almacena o manipula.

Limites de exposición

- OSHA PEL-TWA: 15 mg/m³, partículas de polvo total.
- OSHA PEL-TWA: 5 mg/m³, partículas de polvo total.
- Suecia TWA: 3 mg/m³ de fibra de celulosa
- ACGIH TLV-TWA: 10 mg/m³
- OSHA PEL-TWA: 15 mg/m³, polvo total
- OSHA PEL-TWA: 5 mg/m³ de polvo respirable

Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes como el ozono, cloro, permanganato, de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Datos toxicológicos

- inhalaciones-rata LC50:> 64.400 mg / m³
- DL50 oral rata:> 10.000 mg / kg de fibra de celulosa
- inhalaciones-rata, CL50:> 5800 mg / m³ (4-hr)

Clasificaciones de la NFPA

- Salud 0
- Fuego 0
- Reactividad: 0

**TABLA XLIV. Costo de adsorbentes en el mercado guatemalteco
(Octubre 2009)**

| TIPO DE ADSORBENTE | COSTO (\$/Kg) | VENTA EN SACO DE (Kg) |
|--------------------|---------------|-----------------------|
| Tipo I | 2.20 | 20.00 |
| Tipo II | 2.60 | 20.00 |
| Tipo III | 4.84 | 13.64 |

Fuente: Venta de adsorbentes.

Anexo 2. Características de los disolventes

Acetato de etilo ($CH_3COOCH_2CH_3$)

También conocido como ester etil acético, éter acético, etanoato de etilo y acetoxietano. Es un líquido incoloro, con olor a frutas, menos denso que el agua y ligeramente miscible con ella. Sus vapores son más densos que el aire. La Tabla XLV describe las propiedades físicas y químicas del compuesto.

Tabla XLV. Propiedades físicas y químicas del acetato de etilo.

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| Peso molecular | 88.1g/mol |
| Temperatura de ebullición 760 mmHg | 77°C |
| Temperatura de fusión | -83°C |
| Temperatura de inflamación | -4.7°C copa cerrada |
| Temperatura de autoignición | 426.7°C |
| Densidad relativa. | 0.902 |
| Densidad de vapor (aire=1) | 3.00 |
| Presión de vapor mmHg | 100 |
| Punto de fulgor °C vaso abierto | 13.3 |
| Punto de fulgor °C vaso cerrado | -3.3 |
| Fase de destilación a 760mmHg °C | 76-78 |
| Viscosidad de 20°C (Cp) | 0.45 |
| Tensión superficial dina/cm3 | 23.9 |
| Índice de refracción a 20°C | 1370 |

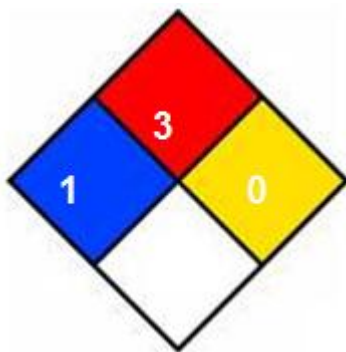
Fuente: Mauro C. Nupieri, Hojas de Seguridad MSDS N°1006 Acetato de Etilo, Página 3.

Para utilizar este producto es necesario un lugar ventilado, utilizar bata, lentes de seguridad y si es necesario guantes de hule natural o neopreno (no usar PVC). Debe almacenarse lejos de fuentes de ignición y de luz directa del

sol, en un área bien ventilada. Grandes cantidades de este producto deben almacenarse en tanques metálicos conectados a tierra.

Ver en la figura 1 las especificaciones de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, En ingles: *National Fire Protection Association* (NFPA) del compuesto.

Figura 61. Diagrama NFPA del acetato de etilo.



Fuente: Mauro C. Nupieri, Hojas de Seguridad MSDS N°1006 acetato de etilo, Página 1.

Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio:

Emplear polvo químico seco, espuma, dióxido de carbono o agua para extinguir el fuego. Utilizar agua para enfriar contenedores y estructuras expuestas al fuego.

Efectos en la salud:

- Inhalación: Causa dolor de cabeza, náuseas e incluso pérdida de la conciencia y puede sensibilizar las mucosas, inflamándolas. En concentraciones altas causa convulsiones y congestión de hígado y riñones. Aún en concentraciones bajas causa anemia.

- Contacto con los ojos: una exposición prolongada causa el oscurecimiento de las córneas.
- Contacto con la piel: El contacto prolongado provoca resequedad, agrietamiento, sensibilización y dermatitis.
- Ingestión: Irrita las membranas mucosas. En experimentos con conejos se ha observado pérdida de coordinación probablemente debido a la hidrólisis rápida a ácido acético y alcohol etílico.

Emergencias y primeros auxilios:

- Contacto con los ojos: Enjuagar con abundante agua durante 15 minutos
- Contacto con la piel: Lavar el área de contacto con agua y jabón.
- Ingestión: Tomar agua o leche para diluir el producto.
- Inhalación: Trasladar a la víctima a un lugar con aire fresco, si se dificulta la respiración administrar oxígeno, si se detiene proporcionar respiración de boca a boca.

Alcohol etílico. (CH_3-CH_2-OH)

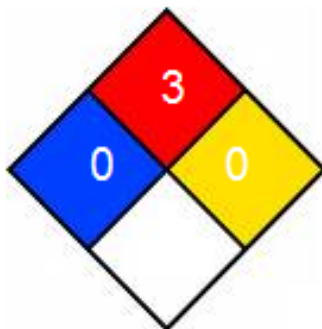
También conocido como alcohol etílico, alcohol anhidro, metil carbinol, alcohol de grano. Es un compuesto químico incoloro, inflamable y volátil. La tabla XLVII describe las propiedades físicas y químicas del alcohol etílico.

Tabla XLVI. Propiedades físicas y químicas del alcohol etílico.

| | |
|--|-------------------|
| Peso molecular | 46.7g/mol |
| Temperatura de ebullición | 78.5°C |
| Temperatura de fusión | -114.1°C |
| Temperatura de inflamación | 13°C copa cerrada |
| Solubilidad en agua | Miscible |
| Temperatura de autoignición | 363°C |
| Densidad relativa. (20/20°C) | 0.79 |
| Densidad de vapor (aire=1) | 1.30 |
| Presión de vapor mmHg | 40 |
| Punto de fulgor °C vaso abierto | 15.6 |
| Punto de fulgor °C vaso cerrado | 8.9 |
| Fase de destilación a 760mmHg °C | 78.3-78.5 |
| Viscosidad de 20°C (cp) | 1.2 |
| Tensión superficial dina/cm ³ | 22.39 |
| Índice de refracción a 25°C | 1359 |

Fuente: Corporación Química Venezolana, Hojas de Seguridad alcohol etílico Páginas 1 y 3.

Figura 62. Diagrama NFPA del alcohol etílico.



Fuente: Corporación Química Venezolana, Hojas de Seguridad alcohol etílico Página 1.

Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio:

Emplear polvo químico seco, espuma, dióxido de carbono o agua para extinguir el fuego. Utilizar agua para enfriar contenedores y estructuras expuestas al fuego.

Efectos en salud:

- Inhalación: Tos, dolor de cabeza, fatiga, mareo.
- Contacto con los ojos: Irritación, dolor, conjuntivitis, visión borrosa.
- Contacto con la piel: Irritación, sequedad, daño del tejido
- Ingestión: Nauseas, vómito, somnolencia, dolor de cabeza.

Emergencias y primeros auxilios:

- Contacto con los ojos: Enjuagar con abundante agua al menos por 15 minutos.
- Contacto con la piel: Remover ropa, lavar el área de contacto con agua y jabón.
- Ingestión: Tomar agua o leche para diluir el producto.
- Inhalación: Trasladar a la víctima a un lugar con aire fresco, si se dificulta la respiración administrar oxígeno, si se detiene proporcionar respiración de boca a boca.

Anexo 3. Fotografías.

Figura 63. Muestra de tintas y disolventes sin tratar.



Fuente: Laboratorio de aguas del Instituto de Fomento Municipal –INFOM–.

Figura 64. Balanza de masa.



Fuente: Laboratorio unificado de Química del agua y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina" de la Empresa Municipal de Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 65. Equipo de Agitación de seis aspas.



Fuente: Laboratorio unificado de Química del agua y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Empresa Municipal de Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 66. Equipo de filtración



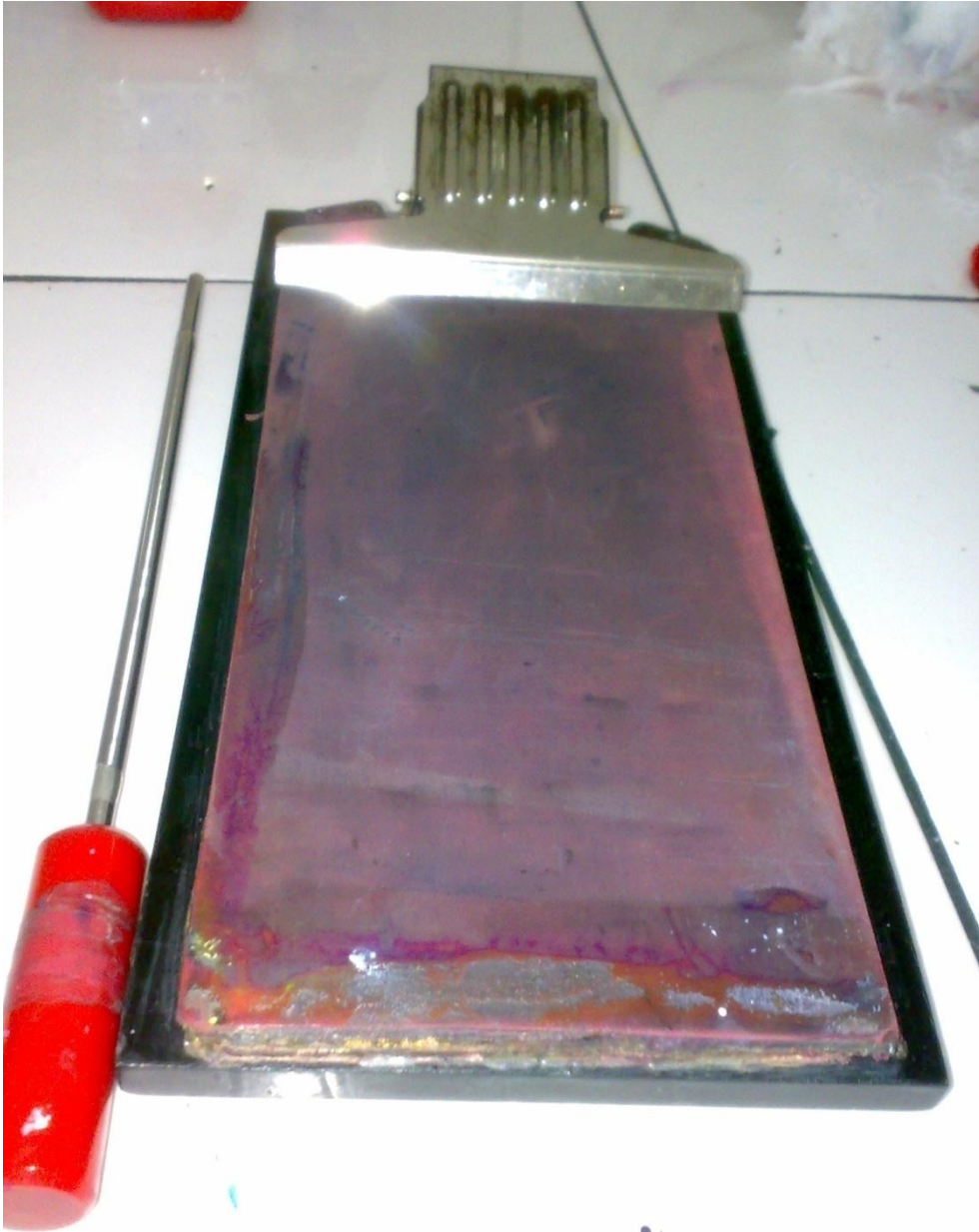
Fuente: Laboratorio unificado de Química del agua y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Empresa Municipal de Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 67. Rodillo, barra amarilla y roja.



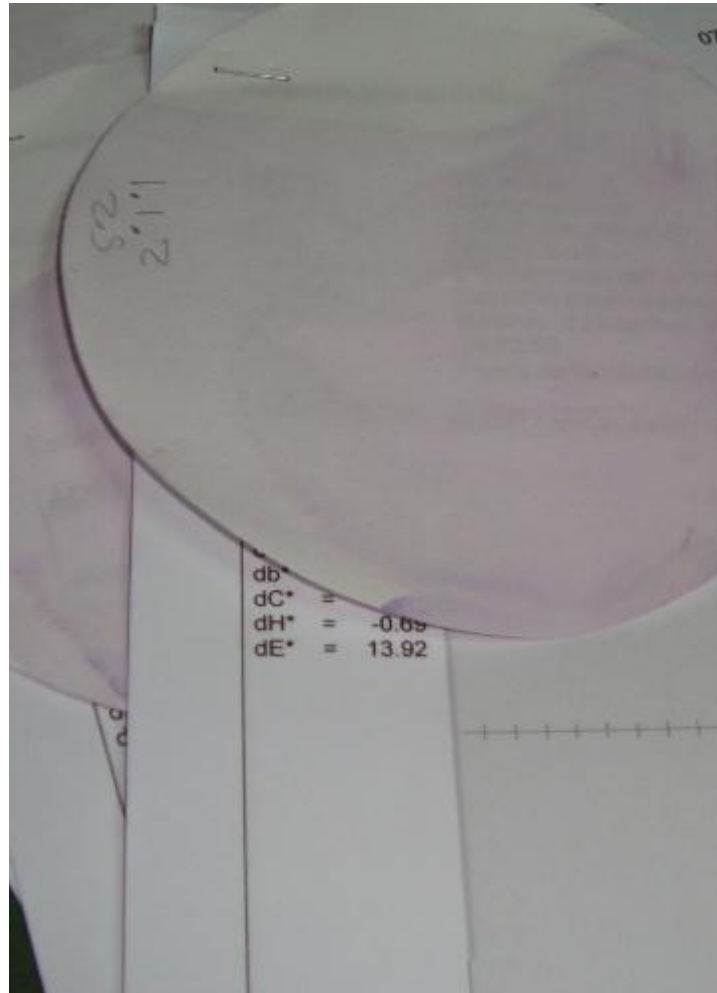
Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwark Centroamérica, S.A.

Figura 68. Cama de arrastre y barra roja.



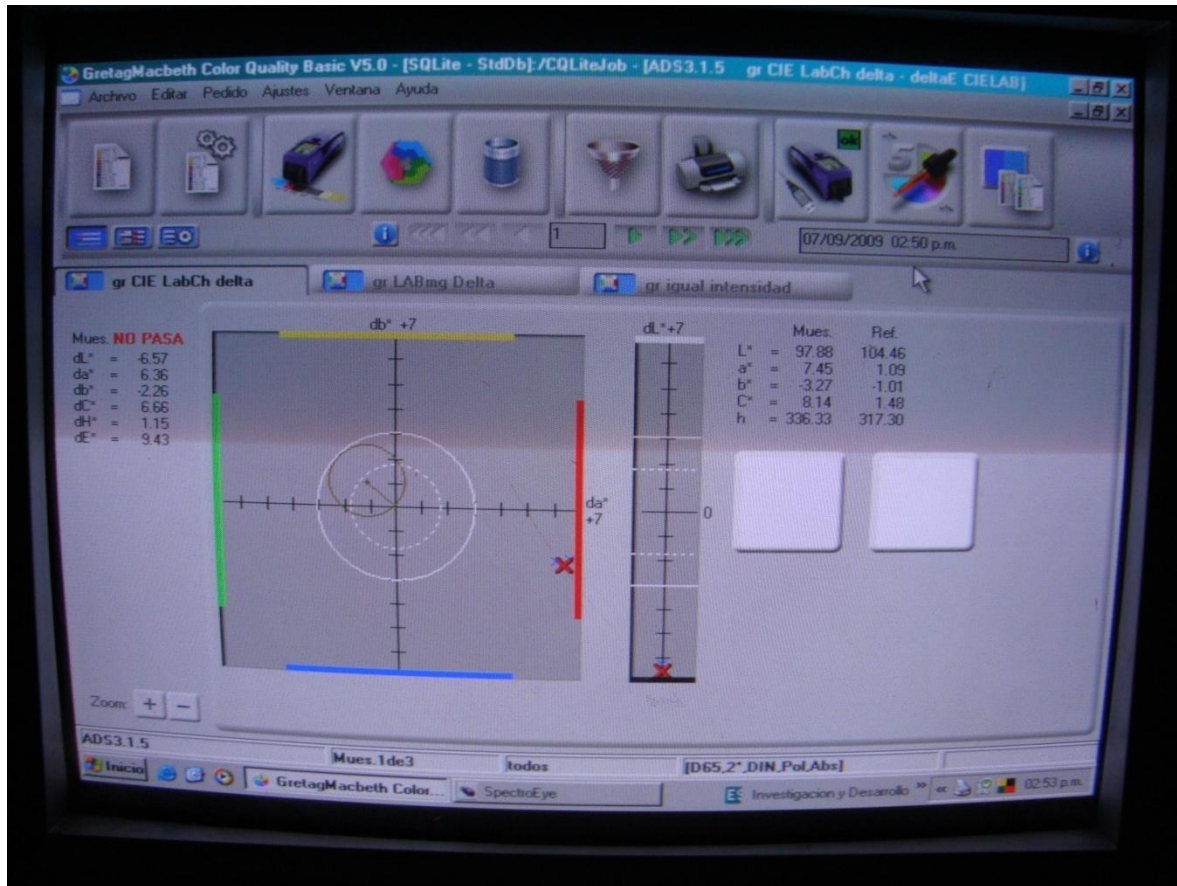
Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwerk Centroamérica, S.A.

Figura 69. Arrastres de disolventes tratados



Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwark Centroamérica, S.A.

Figura 70. Ventana de lectura del espectrofotómetro *Gretag Macbeth*



Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwark Centroamérica, S.A.

Figura 71. Equipo de medición de coordenadas de color Gretag Macbeth.



Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwark Centroamérica, S.A.

Figura 72. Espectrofotómetro Gretag Macbeth.



Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwerk Centroamérica, S.A.

Figura 73. Equipo de medición de coordenadas de color Gretag Macbeth, computadora e impresora.



Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwark Centroamérica, S.A.

Figura 74. Muestra tratada ADS1.2.4 (izquierda), y muestra no tratada (derecha).



Fuente: Laboratorio de Calidad Siegwark Centroamérica, S.A.