



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

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE
PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FISICOQUÍMICAS
A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO**

José Carlos Sosa Bran

Asesorado por la Inga. Delmy Elena Contreras Ruano

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE
PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FISICOQUÍMICAS
A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ CARLOS SOSA BRAN

ASESORADO POR LA INGA. DELMY ELENA CONTRERAS RUANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FISICOQUÍMICAS A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de mayo 2015.

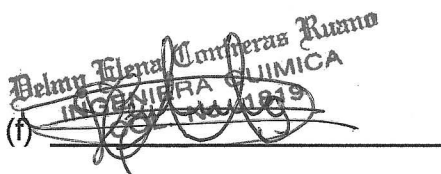

José Carlos Sosa Bran

Guatemala 8 de Junio del 2015

Ing. Víctor Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
USAC
Presente

Por medio de la presente hago de su conocimiento que he aprobado el informe final del Trabajo de graduación del estudiante José Carlos Sosa Bran, que se identifica con carné No. 2007-15244 de la Facultad de Ingeniería, USAC, de la Carrera de Ingeniería Química, titulado **“EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FISICOQUÍMICAS A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO”**, quien realizó su trabajo de graduación en nuestras instalaciones en base al diseño de investigación presentado. Hago de su conocimiento que el estudiante finalizó su proyecto exitosamente.

Por lo anterior quedo suscrita.



Inga. Química Delmy Elena Contreras Ruano

Asesora del Proyecto



Guatemala, 04 de septiembre de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.060.2015.

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **106-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **José Carlos Sosa Bran.**
Identificado con número de carné: **2007-15244.**
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

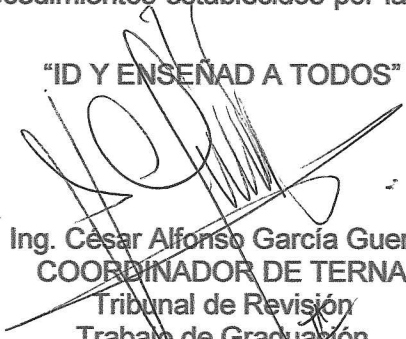
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FÍSICOQUÍMICAS A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Delmy Elena Contreras Ruano.**

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

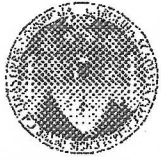
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


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



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.143.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JOSÉ CARLOS SOSA BRAN** titulado: **"EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FISICOQUÍMICAS A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

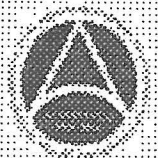
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale





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 DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE PINTURA DE ACEITE PARA SU REUTILIZACIÓN, MEDIANTE MEDICIONES FISICOQUÍMICAS A PRODUCTOS DE PINTURA ACEITE DE RECICLAJE A NIVEL DE LABORATORIO**, presentado por el estudiante universitario: José Carlos Sosa Bran, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser fuente infinita de sabiduría y brindarme paciencia, persistencia, fuerza y fé para lograr mis metas.
- Mis padres** José Jorge Rene Sosa Solares y Aura Elizabeth Bran Williams de Sosa, su amor será siempre mi inspiración, ejemplo y fuerza para seguir adelante.
- Mis hermanas** María Elízabeth y María Rene Sosa Bran, por nuestros gratos momentos, sus concejos y apoyo incondicional.
- Mis abuelas** Aurora y María Teresa por su cariño siempre presente.
- Mis abuelos** Andrés Bran y Carlos Sosa (q. e. p. d.), cuyos recuerdos, enseñanzas y cariño siempre tendré en mi corazón.
- Mi asesora** Delmy Contreras, su valioso apoyo y consejos que siempre estuvieron presentes.
- Mis tíos y primos** Por estar conmigo siempre durante este arduo camino.

Mis compañeros

Por su gran apoyo, consejos y amistad durante todo este tiempo compartiendo las mismas metas. Por todos ellos he llegado hasta aquí. Siempre les agradeceré y los llevaré en mi corazón.

Mis amigos

Adreana Hernández, Manuel Roberto Puente, Paola Mendía, Josue Matheu, José Roberto Soto y muchos otros amigos importantes, siempre apoyándome en momentos difíciles, aconsejándome y acompañándome incondicionalmente. Sé que siempre podré contar con ustedes.

Mis catedráticos

Ing. Pablo Morales, Ing. Williams Cabrera y otros, por brindarme su apoyo incondicional y darme la mejor calidad de estudio, transmitiéndome sus conocimientos.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser fuente de conocimiento y oportunidad. Gracias por darme la oportunidad de formarme y lograr mis metas.

Faculta de Ingeniería

Por ser fuente de conocimiento, diferenciación y apoyo durante toda la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar donde me formé profesionalmente.
Ing. Cesar García	Por darle un enfoque especial y productivo a mi trabajo de graduación.
Grupo Solid	Por permitirme desarrollar mi trabajo de graduación y poner en práctica los conocimientos adquiridos en sus instalaciones.
Ing. Michael Ascoli	Por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y poner en práctica mis conocimientos en sus empresas.
Ing. Pablo Morales	Por su amistad, consejos y apoyo brindados en todo momento durante este tiempo.
Ing. Williams Cabrera	Por el apoyo mostrado en momentos críticos de mi carrera, por su amistad y apoyo.

Inga. Marcia Veliz

Por su incondicional y fundamental apoyo durante el desarrollo de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
Hipótesis	XXIV
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Solventes y diluyentes en la industria de pinturas	6
2.2. Solvente mineral	11
2.3. Proceso de reciclaje de solvente mineral	13
2.4. Planteamiento de uso de materiales obtenidos por reciclado	20
3. DISEÑO METODOLÓGICO	27
3.1. Variables	27
3.2. Delimitación del campo de estudio	28
3.2.1. Área de investigación	28
3.3. Recursos humanos disponibles	29
3.4. Recursos materiales disponibles	29
3.4.1. Instrumentos de medición	29
3.4.2. Equipos auxiliares	30

3.4.3.	Materia prima	30
3.4.4.	Materiales	30
3.4.5.	Equipo de librería	31
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	31
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	37
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la solución	37
3.7.1.	Solvente mineral para limpieza	38
3.7.2.	Solvente mineral como componente activo	38
3.7.3.	Solvente mineral para aplicación	41
3.8.	Análisis estadístico	45
3.8.1.	Diseño experimental	45
3.9.	Plan de análisis de los resultados	50
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	50
3.9.2.	Programas a utilizar para análisis de datos	50
4.	RESULTADOS.....	51
4.1.	Balance	51
4.2.	Solvente mineral para limpieza	52
4.3.	Solvente mineral como componente activo	54
4.4.	Solvente mineral para aplicación	56
4.5.	Pasta anticorrosiva	57
4.6.	Análisis estadístico	60
4.7.	Análisis estadístico Manova	65
4.7.1.	Manova para solvente mineral para aplicación	66
4.7.1.1.	Modelo lineal general	66
4.7.1.2.	Gráficos de perfil	69
4.7.1.3.	Correlaciones	71

4.7.2.	Manova para solvente mineral como componente básico.....	71
4.7.2.1.	Modelo lineal general	71
4.7.2.2.	Correlaciones	74
4.8.	Manual de procedimiento para el manejo de solvente mineral reciclado SMR y sus derivados	74
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	83
5.1.	Reciclaje de solvente	83
5.2.	Solvente mineral para limpieza.....	84
5.3.	Solvente mineral como componente básico.....	85
5.4.	Solvente mineral para aplicación.....	87
5.5.	Pasta reciclada concentrada.....	88
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	APÉNDICES	99
	ANEXOS	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de reciclaje de solvente.....	16
2.	Picnómetro cilíndrico	33
3.	Viscosímetro rotatorio tipo Stormer	34
4.	Medidor de secado	35
5.	Rendimiento comparativo SMV vs. SMR	53
6.	Gráfico de control de la densidad	61
7.	Gráfico de control de la viscosidad	62
8.	Gráfico de control del porcentaje de NV.....	63
9.	Gráfico de control del tiempo de secado	64
10.	Comportamiento del cambio de la densidad (libras/galones) vs. dilución	70
11.	Comportamiento del abatimiento de la viscosidad (KU) vs. dilución.....	70

TABLAS

I.	Composición aproximada de una mezcla de solventes para una pintura termoplástica.	10
II.	Contenido de solvente en diferentes pinturas	11
III.	Propiedades fisicoquímicas	12
IV.	Clasificación internacional.....	13
V.	Resumen de solvente mineral obtenido según rango de temperatura ...	18
VI.	Distribución de productos obtenidos de un lote de 4 toneles de solvente contaminado	18

VII.	Cantidad de solvente contaminado obtenido respecto al tiempo	19
VIII.	Análisis de variables independientes	27
IX.	Análisis de variables dependientes.....	28
X.	Especificaciones de equipo utilizado	36
XI.	Observaciones físicas	36
XII.	Resultados para uso del solvente mineral para limpieza.....	38
XIII.	Rendimiento comparativo.....	38
XIV.	Condiciones de trabajo para la experimentación del solvente mineral como componente activo	39
XV.	Evaluación de propiedades de pintura realizada con SMR como componente activo	39
XVI.	Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMV	40
XVII.	Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMR	40
XVIII.	Diluciones realizada de pintura de aceite color núm. 1, para muestra de SMV y SMR	41
XIX.	Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMV	41
XX.	Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMR.....	42
XXI.	Diluciones realizada de pintura de aceite color núm. 2, para muestra de SMV y SMR	42
XXII.	Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 2 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMV	42

XXIII.	Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 2 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMR.....	43
XXIV.	Propiedades de PR	43
XXV.	Evaluación de dosificación de secantes utilizados para lograr tiempo de secado ≤ 6 horas	43
XXVI.	Fórmula final de pintura anticorrosiva realizada a base de PR	44
XXVII.	Propiedades obtenidas durante la experimentación de la pintura anticorrosiva a base de PR	44
XXVIII.	Propiedades de pintura anticorrosiva realizada a base de PR.....	44
XXIX.	Detalle sobre el manejo de la pintura anticorrosiva realizada a base de PR	45
XXX.	Arreglo rectangular para tratamientos con 3 replicas	46
XXXI.	Arreglo de [] $\Theta\rho\phi$ para el análisis de la relación directa entre variables dependientes e independientes	47
XXXII.	Análisis de la multivarianza para los factores a actualizar	48
XXXIII.	Interpretación para el coeficiente de correlación	49
XXXIV.	Resultado experimental para el reciclaje de solvente mineral	52
XXXV.	Resultados para uso del solvente mineral para limpieza	52
XXXVI.	Rendimiento comparativo	53
XXXVII.	Condiciones de trabajo para la experimentación del solvente mineral como componente activo	54
XXXVIII.	Evaluación de propiedades de pintura realizada con SMR como componente activo	55
XXXIX.	Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMV	55
XL.	Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMR	56

XL I.	Diluciones realizada de pintura de aceite color núm. 1, para muestra de SMV y SMR	56
XLII.	Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMV	57
XLIII.	Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMR.....	57
XLIV.	Propiedades de PR sin dosificación de secantes	58
XLV.	Evaluación de dosificación de secantes utilizados para lograr tiempo de secado ≤ 6 horas	58
XLVI.	Propiedades de PR con ideal dosificación de secantes	58
XLVII.	Fórmula final de pintura anticorrosiva realizada a base de PR	59
XLVIII.	Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura anticorrosiva a base de PR.....	59
XLIX.	Propiedades obtenidas durante la experimentación de la pintura anticorrosiva a base de PR	60
L.	Estándares de aprobación de propiedades fisicoquímicas de pintura anticorrosiva	65
LI.	Detalle sobre el manejo de la pintura anticorrosiva realizada a base de PR	65
LII.	Factores intersujetos	66
LIII.	Pruebas multivariante ^a	67
LIV.	Pruebas de efectos inter-sujetos	69
LV.	Correlaciones.....	71
LVI.	Factores intersujetos	72
LVII.	Pruebas multivariante ^a	72
LVIII.	Pruebas de efectos intersujetos.....	73
LIX.	Equipo de protección aconsejado.....	80

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
[]	Concentración (%)
P	Densidad (lb/gal)
H	Fineza Hegman (H)
Hr	Humedad relativa (%)
\$	Moneda dólar (\$)
S%	Porcentaje de sólidos (%)
% p/p	Porcentaje en peso (p/p)
PR	Pasta reciclada
SMV	Solvente mineral virgen
SMR	Solvente mineral reciclado
μ	Viscosidad (KU)

GLOSARIO

Aditivos

Modernos modificadores reológicos que mejoran y afectan diversas propiedades de las pinturas. Los más comunes son: secantes, dispersantes, espesantes, biocida, antiespumante y plastificante.

Anova

Análisis de varianza (*analysis of variance*) es una colección de modelos estadísticos y procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes explicativas.

Antiespumante

Es un agente activo de superficie, utilizado en la manufactura de recubrimientos para prevenir y evitar la formación de espuma. Desestabiliza la formación de espuma y explota burbujas deshaciendo la espuma ya formada. Normalmente formados por aceites mineral, solidos orgánicos y componentes activos de superficie.

Antiflotación

Aditivo utilizado para evitar la flotación de los tintes en las pinturas. Esto es provocado por sinéresis en el tinte. Esta acción es realizada

por un dispersante compatible para evitar este defecto de calidad de la pintura.

Antinata

Aditivo utilizado para evitar que las fuerzas intermoleculares de las partículas puedan reagruparse y formar una pequeña y delgada capa de pintura en la superficie de la misma.

Antisedimentante

Tierra diatomea que mantiene en suspensión todos los sólidos. Evita el estancamiento en el fondo de los componentes sólidos al paso del tiempo.

ASTM

Siglas de *American Society for Testing and Materials*, y hace referencia a un conjunto de normas estandarizadas para procedimientos y pruebas industriales.

Balanza semianalítica

Equipo electrónico utilizado para medir o pesar cantidades de materia en unidades de masa.

Biocida

Aditivo que protege la pintura del ataque de los microbios, causados por algas, hongos y organismos que podrían tener la capacidad de propagarse, particularmente en ambientes cálidos. Previenen el crecimiento de estos microorganismos.

Cargas

Contenido de tierras diatomeas, utilizadas como complemento sólido colocado en las pinturas para cumplir algunas funciones específicas como protección, durabilidad, resistencia, propiedades anticorrosivas o para dar cuerpo a la pintura. También es responsable de muchas propiedades de resistencia, brillo, textura, opacidad y dureza de ella. Estas pueden ser silicatos, carbonatos, aluminio y otras según el uso final que se le dará a la pintura.

Correlación de Pearson

Correlación que analiza la relación entre varias variables perteneciente a un grupo. Este indica si están interrelacionadas. Si su valor es menor a 0,05 se desprecia la hipótesis nula y descarta la interacción directa entre las variables evaluadas.

Dispersante

Aditivo especializado de distintas variedades según los componentes a utilizar en la fórmula. Este modificador reológico ayudará al fácil manejo de los pigmentos, a mantener la estabilidad durante un tiempo prudencial y a maximizar la capacidad de teñir del pigmento. Este ayuda a que gran parte del poder tintóreo o color salgan del pigmento. Permite evitar problemas en la pintura, líquida y seca.

Enduido	Material que posee mucha rigidez y que es de secado rápido. Ayuda a corregir imperfecciones en la superficie como grietas o fisuras.
Entintado	Proceso por el cual se le aplica tinte a una base, que necesita ser teñida, a un color determinado. Acción de dar color.
Espátula	Instrumento delgado metálico con mango de madera o plástico, utilizado para realizar el chequeo y análisis manual-visual de una muestra.
Humectante	Aditivo que aumenta la capacidad de las cargas, absorber solvente y aditivos.
Lambda de Wilks	Mide la desviación que se produce dentro de cada grupo, respecto a la desviación total sin distinción de grupos. Si el valor de la prueba es menor al valor inicial se rechaza. Valores muy parecidos a 1 indican un gran parecido entre los grupos. Valores próximos a cero indican una gran diferencia.
Ligante	Vehículo fijo, aglutinante de la pintura, que como su nombre lo indica liga o mantiene unidas las partículas durante la mayor cantidad de tiempo posible. Mantiene ligados

tantos los componentes sólidos como los líquidos mientras se encuentra húmedo y al curar (secar completamente). Es un componente básico y confiere la capacidad de formar película. Depende de las propiedades químicas y mecánicas su capacidad protectora. Comúnmente llamado resina.

Manova

Análisis de multivarianza (*multi variate analysis of variance*) es una colección de modelos estadísticos y procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes explicativas.

Mezclador

Dispositivo en forma de hélice con un pequeño ángulo de inclinación, el cual mediante la energía transferida permite la formación de un remolino. Se permite la mezcla adecuada de los diferentes componentes presentes.

Nivelante

Aditivo que ayuda a que la pintura seque en una capa homogénea, de forma casi perfecta, esparciendo todas las moléculas de forma regular sobre la superficie aplicada.

Picnómetro

Cilindro metálico utilizado para medir el peso por unidad de volumen (densidad) a una

temperatura determinada. Posee una abertura grande para el ingreso de muestra líquida a medir y una tapadera con un pequeño orificio inclinado, el cual aumenta la precisión y elimina las burbujas de aire.

Pigmento

Composición sólida de material orgánico o inorgánico, el cual es obtenido de forma sintética o natural para ser aplicado en cualquier medio necesitado de color. Estos se mezclan con un ligante, solventes y aditivos para desagregar sus partículas elementales y formar tintes, los cuales ayudan a la pintura en sus distintas capacidades como cubriente (opacidad), resistencia al envejecimiento y daños de cualquier tipo. Esto se logra según el pigmento utilizado.

Pintura

Fluido no newtoniano de diversos colores, concentraciones, densidades y viscosidades. Comúnmente presentado de forma líquida o pastosa y aplicado adecuadamente sobre una superficie se transforma por un proceso de curado en una película sólida, plástica y adherente que recubre el sustrato para brindarle protección y decoración a las superficies. Según sus componentes puede tener cierto grado de tixotropía, la cual es eliminada al aplicarle agitación con buen

ángulo de corte de cizalla y velocidad moderada.

Productos especiales

Pinturas o recubrimientos que poseen características especiales las cuales son específicas para cada uso. Esto según el ambiente, el lugar y las necesidades específicas de aplicación.

Raíz mayor de Roy

Método estadístico utilizado para determinar el máximo autovalor discriminante. Este índice solo toma en consideración una de las funciones discriminantes.

Recipientes

Contenedores metálicos con distintas capacidades de almacenaje, utilizados para realizar cualquier proceso de dispersión o mezclado de los componentes. Es utilizado previo a finalizar el producto, para luego trasvasar y envasar el producto final.

Reología

Rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos sometidos a diferentes tipos de esfuerzos.

Sinéresis

Se le denomina a la separación de una capa de líquido transparente que sobre nada en el resto de la pintura contenida en el envase. Esta separación, formada por disolvente y

ligante, y que no contiene pigmento, o muy poco, no constituye un defecto grave de la pintura, siempre y cuando sea fácil su reincorporación. Cuando se presenta este fenómeno la pintura debe de ser agitada hasta lograr homogenizar toda la muestra para obtener las características adecuadas de la pintura al ser aplicada. El homogenizar la muestra permite obtener las características de decorativas y protectoras para las cuales se diseñó este recubrimiento.

Secantes

Aditivos que contienen trazas de metales, tales como calcio, zirconio, cobalto y algunos otros metales. Estos ayudan a disminuir el tiempo de secado mediante el remplazo de las moléculas de aire por las del metal.

Solvente

Líquido utilizado como medio para disolver partículas sólidas y líquidas, las cuales componen las pinturas. Juegan un papel fundamental en el secado de la pintura mediante la degradación de las moléculas, y distintas propiedades que modifican su comportamiento reológico. Es importante en el abatimiento de la viscosidad y en darle volumen a la pintura. Existen de tipo orgánico y sintético. Comúnmente llamado diluyente.

Termómetro	Dispositivo metálico o de vidrio utilizado para la medición de temperatura de forma análoga o digital.
Tinte	Conformación líquida de pigmentos, aditivos, solventes y resinas, las cuales luego de ser tratadas de la forma correcta, coalescen en un producto. Este es capaz de darle color a cualquier sistema base que lo necesite. Este líquido concentrado facilita la producción de colores en la industria de pinturas. Puede presentar un comportamiento tixotrópico o en muy pocos casos reopéctico. También puede ser en ocasiones un fluido pseudoplástico.
Tixotropía	Cualidad de recuperar la consistencia inicial cuando esta se rompe por la aplicación de una fuerza de corte de cizalla. Se permite la agitación de la muestra para provocar la ruptura de las fuerzas intermoleculares y de tensión superficial presentes. Se presenta en menor o mayor proporción para casi todas las pinturas. Se presenta únicamente en los fluidos no newtonianos. El aceite mineral y el agua son un claro ejemplo de fluidos sin tixotropía, también llamados newtonianos.
Tote	Recipiente plástico de 1 000 kg para contener líquidos que desean ser almacenados

herméticamente. Posee una armazón metálica externa que protege a este de cualquier daño y facilita su transporte utilizando monta cargas.

Traza de Pillai

Corresponde a la suma de las varianzas explicadas por cada una de las funciones discriminantes. Si su valor es menor a 0,05 se descarta la hipótesis nula.

Traza de Hotelling

Es directamente proporcional a la distancia entre grupos. La variable que indica un valor mayor es la que le produce mayor incremento. Si su valor es menor a 0,05 se descarta la hipótesis nula.

Varianza

Medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su medida.

Viscosímetro de Stormer

Dispositivo rotatorio utilizado para medir la viscosidad de flujo en una pintura. Consta de 2 paletas tipo paddle, las cuales al ser sumergidas en el fluido a evaluar giran aproximadamente a 200 RPM. Este mide la viscosidad según la carga en el motor al rotar las paletas. Las unidades de medición de este equipo son las unidades Krebs (KU).

RESUMEN

En el siguiente documento se presenta la forma de aprovechar los desechos generados en la manufactura de pintura de aceite y limpieza de equipos utilizados en esta industria. Es validado por medio de mediciones fisicoquímicas y su eficacia en la aplicación a niveles de laboratorio. Se sugiere utilizar el solvente mineral reciclado (SMR) obtenido por métodos simples de destilación y la pasta concentrada (PR).

Los usos y aplicaciones sugeridas en este documento se presentan de forma detallada para promover y lograr el aprovechamiento máximo de los recursos, mediante la reducción de desechos y el aumento de valor de estos. Este aumento de valor está completamente destinado a la obtención de un beneficio económico extra de este subproducto, obtenido en el proceso de manufactura de pinturas a base de aceite.

El objetivo principal de esta investigación radica en evaluar las propiedades de pinturas de aceite al reutilizar solvente mineral reciclado y sus derivados semisólidos de pasta reciclada. Estos son provenientes de residuos de manufactura de pintura de aceite y limpieza del equipo utilizado.

Los objetivos específicos se enfocan en evaluar las propiedades fisicoquímicas y de intemperismo de la pintura anticorrosiva con base en la pasta concentrada, para verificar que cumple especificaciones. También se enfocan en el manejo adecuado de los subproductos obtenidos al obtener solvente mineral reciclado y en la eficiencia técnica en el balance de materiales

recibidos al realizar el reciclaje del solvente mineral, contaminado en la manufactura de pinturas de aceite.

La metodología a seguir en esta investigación consiste en dividir el proyecto en 4 campos clave. La metodología inicia con el reciclaje del solvente mineral contaminado, luego se traslada a los campos específicos de aplicación de los subproductos. El primero es el uso del solvente mineral reciclado para limpieza de tanques y equipo.

Luego, como segundo campo de uso se enfoca en el uso, del SMR como componente básico en la manufactura de pinturas de aceite. Como tercer campo de aplicación se toma en cuenta el uso del SMR para aplicación, lo que abarca el trabajo de campo en la industria de pinturas y tiene contacto directo con el cliente. Y por cuarto y último campo de investigación el uso de la PR para la elaboración de una pintura anticorrosiva que cumpla especificaciones y se desempeñe adecuadamente.

El resultado de las pruebas realizadas demostró la forma en que se puede utilizar el SMR en los campos formulación, limpieza y aplicación, logrando un beneficio económico real y la reducción de la producción de desechos.

Los resultados presentados permiten el aprovechamiento de todos los subproductos y específicamente la utilización de la PR en la producción de una pintura anticorrosiva. Se muestra una fórmula sugerida para realizar esta pintura. Los resultados expuestos, demuestran que es factible, utilizar todos los subproductos obtenidos en el reciclaje de solvente mineral contaminado. Esto para impactar de forma positiva la reducción de desechos y el desempeño económico en la manufactura de pinturas de aceite.

OBJETIVOS

General

Evaluar las propiedades de pinturas de aceite de reciclaje experimentales al reutilizar SMR y sus derivados semisólidos PR provenientes de los residuos de manufactura de pintura de aceite y limpieza de equipo de procesamiento.

Específicos

1. Evaluar mediante pruebas fisicoquímicas y de intemperismo para verificar que la pintura experimental anticorrosiva cumpla con las especificaciones.
2. Desarrollar un procedimiento para el manejo del solvente mineral reciclado y sus derivados.
3. Evaluar mediante un balance de materiales la eficiencia técnica de la reutilización de desechos, en el proceso de manufactura de pinturas.

Hipótesis

Será factible el uso del solvente de reciclaje como componente activo en el proceso de manufactura de pintura base aceite, así como la reutilización y aprovechamiento de este y sus derivados, para la industria de pinturas.

INTRODUCCIÓN

En la industria de pinturas es parte fundamental comercializar pinturas que puedan ser utilizadas en una amplia gama de ocasiones, sin ser una pintura especial. Esto se debe a que las pinturas especiales son costosas y difíciles de manejar.

Las pinturas con base de solvente son parte fundamental de la industria de pinturas. Estas presentan una opción viable para el consumidor al ofrecerle pinturas, que tengan buen brillo y resistencia a algunos embates climáticos comunes, al ser aplicado en ambientes exteriores o incluso interiores. Estas pinturas en la mayoría de ocasiones son más costosas que las pinturas con base de látex, pero la diferencia en su valor es razonable al comparar sus aplicaciones.

Debido a esto, es importante producir pinturas con base de solvente o comúnmente llamadas de aceite, que sean de buena calidad, eficiencia y resistencia. Sin embargo al producir estos recubrimientos es común encontrar valores importantes en desperdicios o sobrantes, los cuales se producen en el proceso de manufactura, traslado, trasvasado y empaçado (envasado). Estos sobrantes deben ser tratados con solvente mineral virgen para ser removidos de los equipos y superficies, provocando gasto extra de solvente mineral virgen al lograr estas tareas.

Comúnmente este solvente de limpieza es tratado como desecho al estar contaminado con la pintura removida y todo lo que la compone. Por ello, se le da el nombre de solvente mineral de desecho y es tratado como tal.

Las empresas invierten grandes cantidades de dinero pagándole a alguien más para que se haga cargo del manejo de este desecho. Lo hacen sin pensar en los usos potenciales que podría tener este subproducto muy común en la industria de pinturas.

Se presenta las distintas aplicaciones y usos que puede tener el desecho al ser tratado de la forma adecuada, para reactivar sus componentes saturados por el material removido. Este solvente luego de ser tratado recupera su capacidad de disolución y puede utilizarse de distintas maneras, siendo algunas de estas: componente activo, componente secundario o de aplicación y como componente de limpieza. Al realizar esto se logra el mejor aprovechamiento de este subproducto de la manufactura de pinturas y los materiales obtenidos al reciclarlo.

Se presentan varias opciones para reducir las pérdidas económicas generadas por esta actividad y se sugieren varios usos. Estos son puestos a prueba de forma experimental y validados al realizar comparaciones físicas y numéricas de los resultados comparativos del desempeño del solvente mineral reciclado *versus* el solvente mineral virgen.

Los usos sugeridos en este documento pueden ser afectados por las condiciones de operación y manejo. Esto sin despreciar los efectos de las condiciones ambientales del lugar de uso y aplicación.

Cabe mencionar que no se presentará detalladamente la obtención del solvente mineral reciclado, pero se resumirá cómo es obtenido para enriquecer el texto. Esto debido a que, no es objetivo de este proyecto el reciclaje en sí más sí su utilización activa en la industria de pinturas.

1. ANTECEDENTES GENERALES

En diciembre del 2009 se presenta un documento legal titulado: *Informe nacional sobre desarrollo sostenible*. Este informe fue presentado en la comisión de desarrollo por a las Naciones Unidas, en Nueva York en ese mismo año. Este informe abarca los aspectos legales, en el país, sobre los manejos adecuados de los desechos sólidos y líquidos producidos en las diferentes industrias. Se puede encontrar todo el marco legal sobre esta actividad. Abarca los solventes y los residuos sólidos producidos al ser reciclados.

En el país, en junio del 2010, en la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Fiusac) se presentó una investigación con el tema: *Propuesta de un sistema de recuperación de disolvente usado para el lavado de rodillos y mantillas de máquinas offset, en una industria litográfica*.

En esta investigación se expone información sobre el reciclaje del disolvente utilizado en esta industria, abarcando los métodos posibles para obtener este componente. También incluye varios aspectos físicos y económicos los cuales hacen llamativa la opción de reciclar el solvente contaminado o sucio. Se expone los daños ambientales producidos por estos componentes.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación se presenta las definiciones técnicas para el trabajo de graduación.

- Pintura

Fluido no newtoniano de diversos colores, concentraciones, densidades y viscosidades. Comúnmente presentado de forma líquida o pastosa y que aplicado adecuadamente sobre una superficie se transforma por un proceso de curado en una película sólida, plástica y adherente que recubre el sustrato. Esto para brindarle protección y decoración a las superficies. Según sus componentes puede tener cierto grado de tixotropía, la cual es eliminada al aplicarle agitación con buen ángulo de corte de cizalla y velocidad moderada. Las pinturas son técnicamente llamadas recubrimientos.

Las pinturas “se aplican en capas delgadas sobre un sustrato y tienen la propiedad de transformarse en una película sólida, continua y adherente por evaporación de la mezcla solvente, y en algunos casos, además por transformaciones químicas de la sustancia formadora de película.”¹

¹ A. GIUDICE, Carlos; M. PEREYRA, Andrea. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad.* p. 232.

- Componentes básicos de la pintura: están conformados por materiales fundamentales producir este recubrimiento diseñado. El objetivo es para embellecer y proteger las estructuras o el substrato donde son aplicadas.

A continuación se presentan y se explican los mismos:

- Ligante o aglutinante: vehículo fijo que, liga o mantiene unidas las partículas durante la mayor cantidad de tiempo posible en los distintos materiales presentes en una pintura. Se mantienen ligados tanto los componentes sólidos como los líquidos, mientras se encuentra húmedo y al curar (secar completamente). Es un componente básico y confiere la capacidad de formar película. Depende de las propiedades químicas y mecánicas su capacidad protectora. Esto es comúnmente llamado resina.
- Pigmentos: es la composición sólida de material orgánico o inorgánico, el cual es obtenido de forma sintética o natural para ser aplicado en cualquier medio necesitado de color. Estos se mezclan con un ligante, solventes y aditivos para desagregar sus partículas elementales y formar tintes, los cuales ayudan a la pintura en sus distintas capacidades como cubriente (opacidad), resistencia al envejecimiento y daños de cualquier tipo. Esto se logra según el pigmento utilizado. Pueden ser utilizados directamente sobre la pintura para conferir color y características específicas o puede ser utilizado como tinte.
- Aditivos: componentes que mejoran y afectan diversas propiedades de las pinturas. Son modernos modificadores de reología de las pinturas, los más comunes son: secantes,

dispersantes, espesantes, biocida, antiespumante y plastificante. Permiten manejar de cierta forma a placer la reología de las pinturas. También existen otros aditivos menos comunes o más específicos.

- Solvente o diluyente: líquido utilizado como medio para disolver partículas sólidas y líquidas, las cuales componen las pinturas. Las mismas juegan papel fundamental en el secado de la pintura mediante la degradación de las moléculas, y distintas propiedades que modifican su comportamiento reológico. Importante en el abatimiento de la viscosidad y en darle volumen a la pintura. Existen de tipo orgánico y sintético. Se les denomina solvente o diluyente según el uso que se les dé en las pinturas; esto se explicará a detalle más adelante en este documento.
- Tipos de pinturas: los 3 tipos de pinturas más comunes en la actualidad, según los distintos usos que el ser humano les da, son:
 - Pintura base látex: pintura de base acuosa. “En estas pinturas la fase dispersa del sistema es sólida”². Estas son utilizadas para aplicaciones en interiores, ya que la mayoría de pinturas de este tipo no posee buena resistencia a la exposición a la intemperie.

Existen algunas modificadas de manera especial para usos muy específicos como soportar altas condiciones de esfuerzo. Estas necesitan el uso de bactericida y biocida para evitar la acción de microorganismos en ellas y causar su descomposición.

² A. GIUDICE, Carlos; M. PEREYRA, Andrea. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad*. p. 232.

Regularmente son mucho más baratas que las pinturas base aceite.

- Pintura base aceite: son pinturas formadas por resinas de distintos tipos, las cuales utilizan aceites secantes de varios tipos. En general estas presentan buena resistencia a la intemperie y son de secado lento. Por ello se les aplica secantes internos y externos (internos y de superficie), para lograr la adecuada formación de película.

Estas utilizan variedad de solventes, pero no utilizan agua. La única forma de contener agua es en forma de emulsión, de lo contrario no llevan agua en sus fórmulas. Comúnmente son de tipo alquídicas.

- Pintura especial: pinturas o recubrimientos que poseen características especiales. Estas son específicas para cada uso, según el ambiente, el lugar y las necesidades específicas de aplicación.

Nota: esta clasificación es realizada con base en el uso y entendimiento popular de la pintura, más no sobre su contenido, comportamiento o especificaciones técnicas detalladas. Es realizada con fines demostrativos.

2.1. Solventes y diluyentes en la industria de pinturas

En la industria de pinturas y recubrimientos se utiliza distintos solventes con usos variados. Los solventes pueden estar presentes en las pinturas de dos formas como solvente en sí o como diluyente, lo cual aunque se trate del mismo líquido claramente no es la misma función.

- Definición: los solventes son líquidos de bajo peso molecular, los cuales son utilizados en bastedad en la formulación, fabricación de pinturas y recubrimientos de base no acuosa. En general estos son altamente volátiles, inflamables y tóxicos para el ser humano. “Algunos son de carácter reactivo, ya que producen una reacción química durante la formación de película, para convertirse en parte del ligante, perdiendo en consecuencia sus propiedades como solvente”³.
- Usos: los solventes en la industria de pinturas y recubrimientos son utilizados de dos formas, las cuales se explican a continuación:

Tiene efecto sobre la pintura o recubrimiento.

- Diluyente: son incorporados a las pinturas y recubrimientos para ajustar algunas propiedades y dar algunas características necesarias en dicha pintura.
- Solvente: solubiliza el material formador de película de una pintura o recubrimiento formando finalmente una verdadera solución.

Los solventes juegan un papel fundamental en varias propiedades de la pintura en estado líquido y en estado sólido, cuando estas secan para formar la película protectora y embellecedora. La influencia de los solvente en una pintura o recubrimiento es usualmente subestimada

Las propiedades más importantes, sobre las cuales tiene influencia el solvente, son:

³ A. GIUDICE, Carlos; M. PEREYRA, Andrea. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad*. p. 232.

- Adhesión
- Brillo en húmedo y en seco
- Dispersión molecular
- Flujo de la pintura al aplicar
- Nivelación
- Penetración sobre el sustrato
- Propiedades mecánicas
- Reología de la pintura en húmedo
- Tiempo de secado al tacto
- Tiempo de secado curado total
- Viscosidad

El solvente también puede jugar un papel determinante en evitar problemas que se pueden presentar en la pintura, mientras se encuentra en estado líquido y cuando se presenta seca, en estado sólido.

Puede evitar:

- Defectos en el secado
- Escurrimiento
- Mala nivelación
- Sedimentación

Los solventes pueden dividirse en 2 grandes ramas, siendo estas los solventes formados por compuestos hidrocarbonados y los solventes formados por compuestos oxigenados.

- Hidrocarbonados: incluyen los solventes de tipo alifático y aromático. Estos solventes poseen uniones de puentes de hidrogeno débiles.
- Oxigenados: estos incluyen éteres, cetonas, ésteres, éter-alcoholes y alcoholes simples. Estos solventes poseen uniones de puentes de hidrógeno fuertes.

Raramente se utiliza solo un disolvente, debido al doble requerimiento de velocidad de vaporación y solvencia hacen necesario el uso de una mezcla.

- Clasificación de solventes por las propiedades que afectan en la formación de la película durante el secado en las pinturas: según la forma de afectar el comportamiento reológico de las pinturas los solventes son clasificados según su punto de ebullición de la siguiente forma:
 - ✓ Solventes con punto de ebullición bajo: pueden generar secado forzado, provocando defectos de formación de película.
 - ✓ Solventes con punto de ebullición medio: estos permanecen en la película por lapsos de tiempo adecuados y podrían conducir la formación de un perfecto filme.
 - ✓ Solventes con punto de ebullición alto: pueden provocar fijación de materiales en suspensión

generadores de indeseables discontinuidades y pobre efecto decorativo.

Debido al efecto que tiene durante el secado, en la formación de la película de pintura, se aconseja utilizar una mezcla proporcionalmente adecuada de solventes con distintos puntos de ebullición.

“La composición aproximada de una mezcla de solventes, para una pintura de características termoplásticas, que forma película a temperatura ambiente, es la siguiente”⁴:

Tabla I. **Composición aproximada de una mezcla de solventes para una pintura termoplástica**

Tipo de solvente	Proporción
Con punto de ebullición bajo	45 %
Con punto de ebullición medio	45 %
Con punto de ebullición alto	10 %

Fuente: A. GIUDICE, Carlos; M. PEREYRA, Andrea. *“Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad”*. p. 444.

- Variables para selección de un solvente o mezcla de solventes:
 - ✓ Solvencia o poder de disolución
 - ✓ Viscosidad
 - ✓ Punto de ebullición

⁴ A. GIUDICE, Carlos; M. PEREYRA, Andrea. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad*. p. 232.

- ✓ Velocidad de evaporación
 - ✓ Flash Point
 - ✓ Naturaleza química
 - ✓ Olor
 - ✓ Toxicidad
 - ✓ Tensión superficial
 - ✓ Costo
- Proporción de solventes en pinturas: a continuación se presenta un resumen de las cantidades presentes de solventes en las pinturas comunes.

Tabla II. **Contenido de solvente en diferentes pinturas**

Nombre	Contenido (%)
Productos en polvo y basados en silicatos alcalinos	No Incluye
Pinturas en "emulsión" (látex) para interiores (agentes coalescentes)	0 – 2
Pintura en "emulsión" (látex) para exteriores (agentes coalescentes) y enduidos de resinas sintéticas, en productos económicos puede alcanzar valores mayores	3 - 5
Productos para aplicación por electrodeposición	1 – 4
Formulaciones industriales de base acuosa	3 – 18
Composiciones de alto contenido de sólidos	20 – 30
Pinturas alquídicas, epóxicas, poliuretánicas, fenólicas entre otras.	40 – 55

Fuente: A. GIUDICE; Carlos. M. PEREYRA, Andrea. "Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad". 444 p.

2.2. Solvente mineral

Es comúnmente llamado *mineral spirit* es una mezcla de hidrocarburos alifáticos derivados de petróleo químicamente estable y no corrosivo. Este subproducto de hidrocarburo es tóxico, volátil e inflamable. Posee bajo olor residual, es de color transparente levemente amarillento y apariencia aceitosa.

En la industria de pinturas el solvente mineral es considerado uno de los solventes más suaves pero es ampliamente utilizado en pinturas alquídicas. Permite lograr la viscosidad de aplicación adecuada en las pinturas base aceite.

- Obtención: primero es obtenida la resina, la cual es una secreción orgánica de los árboles de tipo conífera. Esta resina es denominada trementina y de esta es obtenido el solvente mineral. El solvente mineral es obtenido mediante la destilación de la resina de pino. Su composición depende directamente del pino del que provenga la resina.

A continuación se presentan las propiedades fisicoquímicas básicas

- Propiedades fisicoquímicas:

Tabla III. **Propiedades fisicoquímicas**

Propiedad	Valor
Estado físico	Líquido
Olor	Característico, bajo.
Color	Transparente incoloro. Algunas veces levemente amarillento.
Densidad relativa	0,790 g/cm ³
Temperatura de ebullición	142 a 187 °C (a 760 mmHg)
Temperatura de fusión	-17 °C
Temperatura de inflamación	40 °C (Tag copa cerrada ASTM-D56)
Temperatura de auto ignición	254 °C
Solubilidad en agua	Insoluble

Fuente: Química Delta, S.A. de C.V. *Hoja de seguridad*. p. 4.

Usos: es utilizado como diluyente en las pinturas y barnices. También es utilizado como solvente industrial en *thinners*, pinturas y barnices.

- Otros usos: el solvente mineral también es ampliamente utilizado para limpiar y desengrasar maquinaria y partes. Altamente en remover aceites, grasas, carbón y algunos otros compuestos.
- Información internacional: a continuación se presenta un resumen de los códigos internacionales de clasificaciones de varios tipos como seguridad industrial, toxicología, salud, inflamabilidad entre otras.

Tabla IV. **Clasificación internacional**

Nombre	Código
Número CAS	8052-41-3
Número CE	232-350-7
Número UN	1268
Grupo de empaque	III

Fuente: Química Delta, S.A. de C.V. *Hoja de seguridad*. p. 4.

A continuación se detalla el reciclaje del solvente mineral:

2.3. **Proceso de reciclaje de solvente mineral**

A continuación se presenta el proceso.

- Definición: proceso de destilación por el cual, de una muestra de solvente contaminada con desechos de varios tipos, es recuperado el solvente objetivo mediante variaciones de temperatura y presión. En este

proceso se utiliza distintos equipos para recuperar a la mayor pureza posible según sea el objetivo y el presupuesto.

- ¿Cómo se obtiene el solvente sucio?

Se obtiene al lavar con solvente mineral virgen (SMV) o de primer uso maquinaria y equipo con residuos de pintura base aceite, en su mayoría alquídica. Este solvente mineral sucio o contaminado con los restos de pintura en su mayoría es retirado de los distintos tanques y equipos y almacenado en toneles metálicos de 55 galones.

- ¿Cómo se realiza el reciclaje?

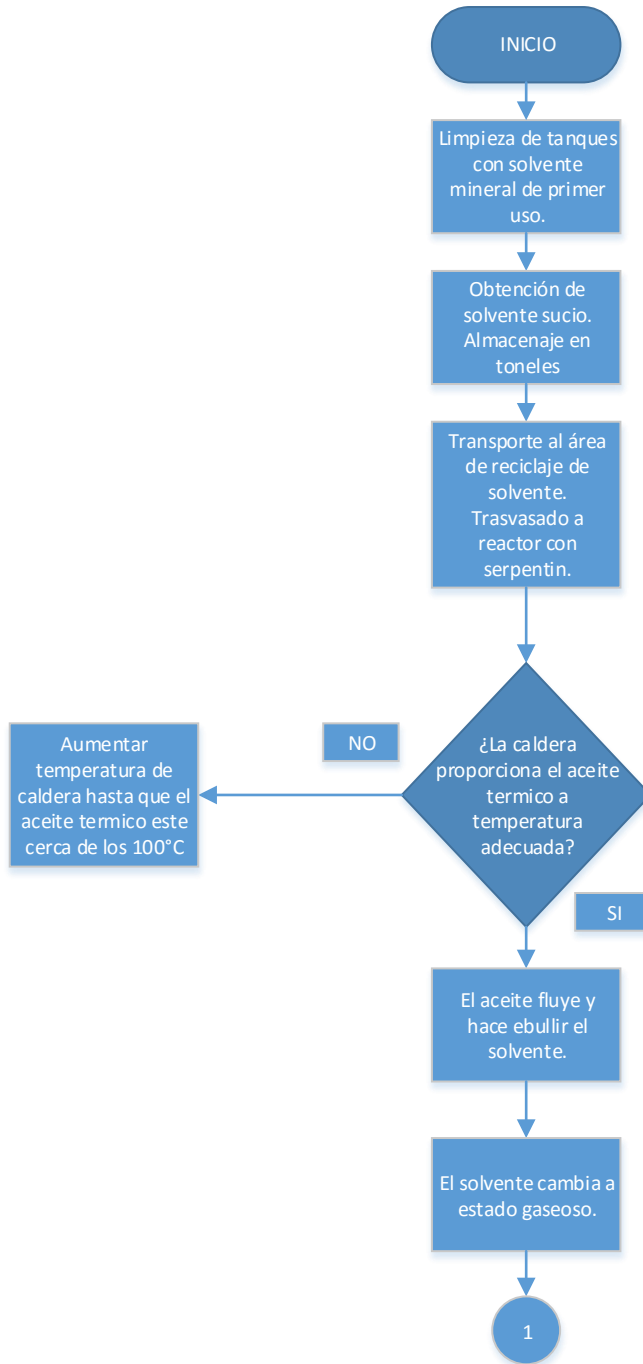
El reciclaje es realizado en varios pasos, los cuales se resumen a continuación:

- Paso 1: el solvente almacenado en toneles es trasladado al área de reciclaje, en donde es trasvasado a un tanque cerrado, en su interior contiene un serpentín.
- Paso 2: la caldera proporciona aceite térmico caliente aproximadamente entre 90° y 160°. Esto se divide en 2 rangos de operación, los cuales serán explicados en secciones posteriores.
- Paso 3: el aceite térmico fluye dentro de los tubos calentando el solvente que rodea al serpentín dentro del tanque, provocando que este comience a ebulir.

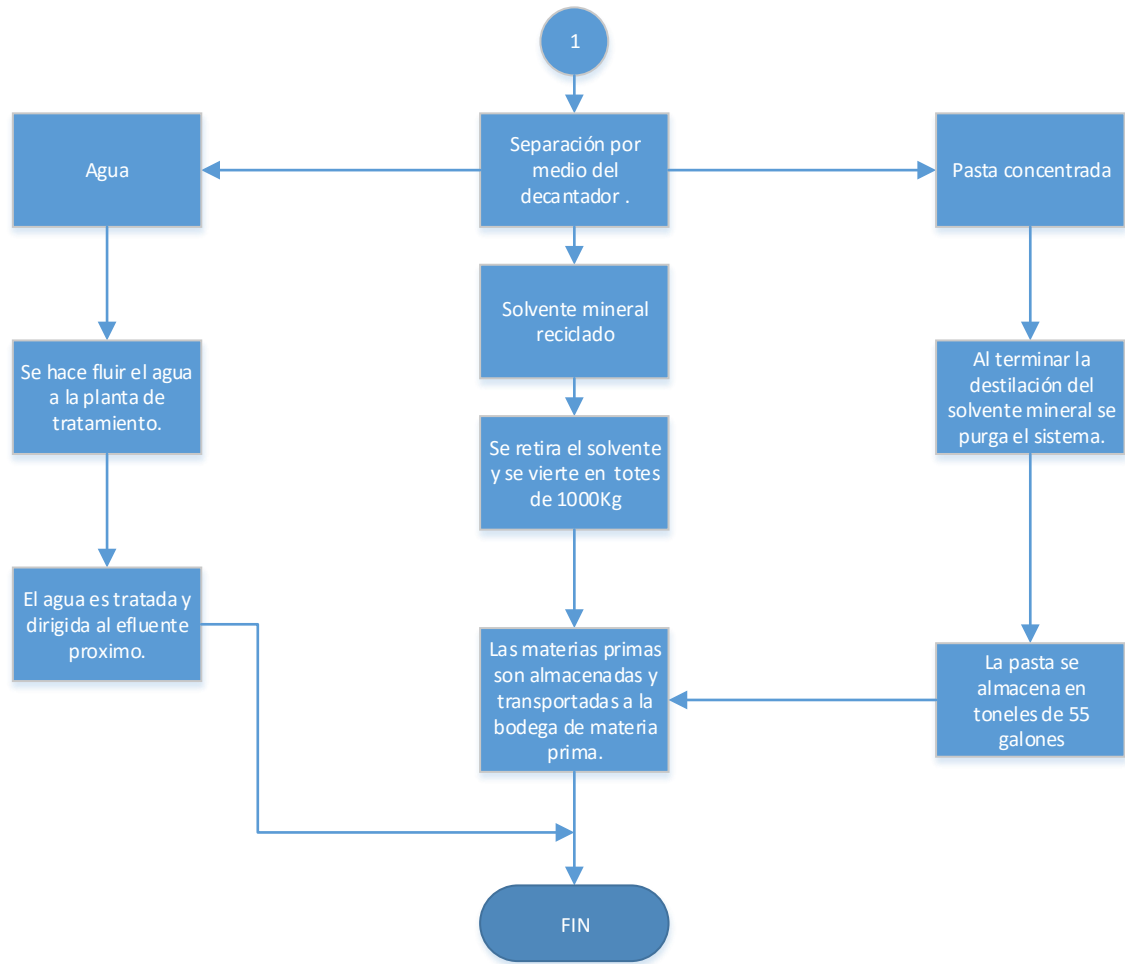
- Paso 4: el solvente en ebullición se convierte en gas, y se traslada pasando por un condensador el cual lo regresa a estado líquido a un decantador, en donde se obtiene SMR y agua. El resto de material se queda en el tanque.
- Paso 5: se separa por medio del decantador SMR con buena calidad y el agua.
- Paso 6: el residuo, que queda de la ebullición del solvente contaminado, se deposita en el fondo del tanque y es drenado. Se obtiene una pasta concentrada.
- Paso 7: el solvente reciclado se envasa en totes de 1 000 Kg. El agua se hace fluir a la planta de tratamiento y la pasta es envasada en toneles metálicos de 55 galones.
- Paso 8: por último el solvente reciclado y la PR obtenida son trasladados para su almacenaje para usos posteriores.
- Equipos:
 - Caldera
 - Condensador
 - Decantador
 - Tanque con serpentín

Se presenta el diagrama de flujo a continuación:

Figura 1. Diagrama de reciclaje de solvente



Continuación de la figura 1.



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

- Productos esperados: en el proceso de reciclado de solvente mineral se espera obtener:
 - Solvente mineral reciclado (SMR)
 - Pasta concentrada (PR) de residuos sólidos
 - Agua para tratar en planta de tratamiento

- Rendimiento del proceso de reciclaje: según los datos compartidos por el Departamento de Manufactura, a continuación se presenta las cantidades que se obtienen para cada material:

Tabla V. **Resumen de solvente mineral obtenido según rango de temperatura**

Rango de temperatura de operación (°C)	Solvente mineral recuperado	Lote (galones)
De 90 °C a 100 °C	1 tonel (55 galones)	200
De 130 °C a 160 °C	1,5 Toneles (82,5 galones)	200

Fuente: SUPERBIA. *Rendimiento del solvente mineral*. p. 80.

Tabla VI. **Distribución de productos obtenidos de un lote de 4 toneles de solvente contaminado**

Producto	Cantidad (toneles)	Porcentaje (%)
Solvente mineral reciclado (SMR)	2,5	62,5
Pasta sólida concentrada (PR)	1	25
Agua	0,5	12,5
TOTAL	4	100 %

Fuente: SUPERBIA. *Rendimiento del solvente mineral*. p. 80.

La cantidad de toneles obtenida puede presentar una variación de $\pm 0,1$ toneles, que equivale al 2,5 %. Esta variación se puede presentar por variables operativas, de diseño y de contenido del solvente contaminado.

- Solvente contaminado obtenido: a continuación se presenta un resumen de la cantidad de solvente obtenida respecto al tiempo.

Tabla VII. **Cantidad de solvente contaminado obtenido respecto al tiempo**

Cantidad (toneles)	Tiempo (meses)	Variación (toneles)
50	1	± 5

Fuente: SUPERBIA. *Rendimiento del solvente mineral*. p. 80.

- **Riesgos:** es sumamente importante enfatizar los riesgos que puede provocar el proceso de reciclaje de solvente mineral, debido a sus características. Como se ha mencionado en secciones anteriores en este documento, el solvente mineral es volátil, inflamable y tóxico.

Por ello, es necesario realizar sugerencias de manejo del solvente mineral de reciclaje y sus subproductos. También del proceso de fabricación, sin descuidar el transporte y almacenaje.

Si estos materiales no son manejados de la forma correcta pueden causar serios accidentes. Estos serían daños físicos y materiales, ocasionando pérdidas económicas y contaminación ambiental.

Las sugerencias que sean presentadas deben de ser tomadas en cuenta para evitar todos estos riesgos y proveer a la empresa de un proceso de reciclaje de solvente mineral eficiente, seguro y confiable.

- **Medidas de seguridad:** son fundamentales en el proceso de reciclaje de solvente, para evitar accidentes. Estas deben de iniciar por reducir los riesgos durante el proceso completo para tener como resultado final un proceso seguro y con riesgos controlados.

Estas deberán de ser presentadas de forma clara y concisa para facilitar su aplicación y seguimiento.

2.4. Planteamiento de uso de materiales obtenidos por reciclado

Los materiales que se desean y esperan obtener en el reciclado del solvente mineral contaminado o sucio deben de ser aprovechados de la mejor forma. Esto conlleva al correcto manejo y uso de los mismos. Se debe ser objetivo para lograr el beneficio económico deseado.

- Beneficio económico: se obtiene al utilizar los materiales reciclados se debe a que en el proceso de producción se asume el costo total del uso del solvente. Este costo va incluido en el costo del producto final y por lo tanto ya está asumido al producir cada lote de pintura.

Dicho en otras palabras ya se pagó. Al lograr reutilizar este material reciclado, obtenido del desecho de este solvente, se estaría obteniendo una nueva ganancia de esta misma materia prima, generando ganancias la primera vez que se utilizó.

Esta ganancia se puede deber a 2 formas de uso:

- Sustitución total: al uso del solvente mineral de reciclaje y sus derivados de forma activa o como componente principal o de primera mano.
- Sustitución porcentual: al sustituir parte de las materias primas de primer uso en las fórmulas por estos materiales reciclados. Este

puede ser en cualquier porcentaje, desde el 0,01 % hasta el 99,99 %.

- Usos: los usos sugeridos para los productos obtenidos del reciclaje de solvente sucio o contaminado son los siguientes:
 - Solvente mineral para limpieza
 - Solvente mineral como componente activo
 - Solvente mineral para aplicaciones
 - Pintura anticorrosiva, utilizando la pasta concentrada

Estos serán validados mediante la experimentación, comparando los resultados obtenidos de forma directa con los estándares de aprobación.

A continuación se detalla cada uso.

- Solvente mineral para limpieza: se realizará la evaluación experimental del desempeño del solvente mineral reciclado *versus* el solvente mineral de primer uso o virgen, como solvente de limpieza de maquinaria y equipo. Este uso se enfocará únicamente en la limpieza de los tanques en donde se produzca pinturas base aceite.

Sí el solvente mineral reciclado es de buena calidad y alta pureza se utilizará cantidades similares a las utilizadas de solvente mineral de primera mano, para remover los restos de pintura.

Cabe mencionar que para validar estos resultados debe realizarse la limpieza comparativa, utilizando ambos para remover los mismo

productos. Esto con el fin de obtener resultados que si puedan ser comparados.

Esto se realizará cuantificando la cantidad de solvente utilizada para remover la suciedad de 1 tanque o recipiente de un tamaño estándar, que permitirá calcular el rendimiento de ambos. Se debe tomar en cuenta las variaciones posibles, en este experimento, para establecer un rango de variación que abarque los valores obtenidos y permita clasificarlos como válidos o no válidos. Esto puede ser realizado a escala laboratorio o planta.

- Solvente mineral como componente activo: se realizará la validación experimental del uso del solvente mineral de reciclaje como componente activo en fórmula. Esto conlleva a la aplicación del solvente mineral reciclado en algunos productos en donde se utilice solvente mineral para producir pintura base aceite. Esto se debe de hacer de forma comparativa para obtener resultados validos que puedan ser comparados.

Se realizarán 3 muestras de pintura.

- Pintura base aceite utilizando únicamente solvente mineral de primer uso o virgen (SMV).
- Pintura base aceite utilizando únicamente solvente mineral reciclado (SMR).
- Pintura base aceite sustituyendo parte del solvente mineral de primer uso con el solvente mineral reciclado. Se realizará en las siguientes proporciones: sustitución del 25 %, 50 % y 75 %.

Esto se realizará a escala laboratorio, en recipientes metálicos de ¼ de galón. Se preparan muestras de ¼ de galón. Se evitan las variaciones de proceso, materia prima y condiciones ambientales para poder obtener resultados representativos y confiables.

Para todas las muestras serán tomadas las siguientes propiedades básicas:

- ✓ Brillo
- ✓ Densidad
- ✓ Viscosidad
- ✓ Secado al tacto
- ✓ Secado en vidrio
- ✓ Porcentaje de sólidos
- ✓ Prueba de centrífuga

Se realizarán pruebas de:

- ✓ Envejecimiento, en condiciones ambientales controladas.
- ✓ Prueba de centrífuga, para evaluar estabilidad de emulsión.

Finalmente se observará cambios físicos que puedan presentarse en las muestras, tales como:

- ✓ Aumento de viscosidad (variaciones bruscas)
- ✓ Sedimentación
- ✓ Separación

✓ Sinéresis

- Solvente mineral para aplicaciones: se realizará pruebas de dilución de la pintura a escala laboratorio, con la finalidad de imitar las diluciones que se pueden realizar al momento de aplicar estas pinturas. El máximo recomendado de estas diluciones es 1/8 de galón de solvente mineral por 1 galón de pintura base aceite. Esta relación equivale a la dilución máxima de una muestra del 11 % en volumen.

Esto se realizará de forma comparativa, realizando inicialmente una muestra de pintura con solvente mineral de primer uso y una con solvente mineral reciclado.

Luego se realizarán diluciones a distintos porcentajes de ambas muestras utilizando los 2 solventes minerales. A estas se les medirá: densidad y viscosidad. La viscosidad será tomada por 5 días consecutivos para observar el comportamiento de cada muestra.

Las diluciones a realizar serán de: 3 %, 5 %, 7 %, 9 % y 11 % en volumen. Las diluciones pueden ser cambiadas durante la experimentación según la obtención de resultado lo vaya necesitando, de no haber necesidad de realizar todas estas diluciones o realizar más diluciones deberá de ser especificado el motivo en los resultados. La muestra de pintura base aceite a evaluar será seleccionada según volúmenes de producción y uso.

- Pintura anticorrosiva utilizando la pasta concentrada: con la pasta concentrada se pretende utilizar como pintura anticorrosiva base aceite. Esta pasta con buena cantidad de sólidos puede tener el

potencial de ser una pintura anticorrosiva agregándole pocos aditivos. Se plantea la necesidad de utilizar secantes si esta no logra secar en buen tiempo por sí sola.

Esto se realizará de forma experimental a escala laboratorio para definir qué cantidad de secantes necesita llevar, para secar en un tiempo adecuado aproximadamente 10 horas.

Se realizará la experimentación en recipientes metálicos de $\frac{1}{4}$ de galón. Para esta pasta se determinarán parámetros mínimos de aprobación de propiedades fisicoquímicas para comercializarla como un producto confiable a pesar de ser obtenido de materiales reciclados. Esto se debe realizar, ya que cada lote de pasta obtenido, puede poseer propiedades fisicoquímicas y características físicas diferentes.

Las propiedades fisicoquímicas a evaluar serán:

- Densidad
- Viscosidad
- Porcentaje de sólidos
- Tiempo de secado en vidrio

Al finalizar la experimentación se deberá de presentar si esta pasta puede utilizarse como anticorrosivo, que parámetros mínimos de evaluación tendrá esta pasta anticorrosiva y como deberá de ser el manejo más adecuado. Se deberá de indicar un costo final aproximado para este anticorrosivo y cualquier detalle que deba de ser tomado en cuenta, tanto en costos como en transformación en un producto comercializable.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables claves que se analizarán serán el desempeño físico y el impacto económico de las materias primas recicladas a utilizar.

Esta selección será acompañada por el análisis de las propiedades físicas y químicas de las materias primas a utilizar, para determinar las más compatibles con el sistema. Esto contribuirá a determinar qué parámetros finales de aprobación serán establecidos.

Tabla VIII. **Análisis de variables independientes**

Nombre	Dimensional	Factor potencial de diseño		Característica	Descripción
		Constante	Variable		
Brillo	%		X	Controlable	Cantidad de rayos lumínicos reflejados en una misma dirección a un ángulo de 60 °
Humedad relativa	%		X	Incontrolable	Cantidad de humedad presente en el aire.
Masa	g		X	Controlable	Cantidad de muestra presente para evaluar los sólidos.
Secado al tacto	h		X	Controlable	Tiempo en que se logra el secado de la capa superficial, libre de polvo.
Secado en vidrio	h		X	Controlable	Tiempo en que se logra el curado total,
Temperatura	°C	X		Controlable	Temperatura de medición de propiedades (25 °C).

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Análisis de variables dependientes**

Nombre	Dimensional	Factor potencial de diseño		Característica	Descripción
		Constante	Variable		
Densidad	lb/gal		X	Controlable	Cantidad de masa contenida en un volumen.
Porcentaje de sólidos	% p/p		X	Controlable	Cantidad de componentes no volátiles presentes en una muestra.
Viscosidad	KU		X	Controlable	Medición de la resistencia a fluir.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

A continuación se expone las áreas de estudio:

3.2.1. Área de investigación

Esta pertenece a la ingeniería química, ya que el estudio se enfoca en evaluar, a nivel de laboratorio, el aprovechamiento del SMR y la PR en las pinturas de aceite.

- Campo de estudio:
 - Balance de materia y energía
 - Flujo de fluidos
 - Residuos sólidos

- Procesos que conforman la investigación:
 - Solvente mineral para limpieza
 - Solvente mineral como componente activo
 - Solvente mineral para aplicaciones

- Pintura anticorrosiva, utilizando la pasta concentrada (PR)
- Material de estudio:
 - Reciclaje de solvente mineral.
- Material de control de investigación:
 - Pintura base aceite
 - Pintura anticorrosiva

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: José Carlos Sosa Bran
- Asesor: Inga. Delmy Elena Contreras Ruano
- Colegiado núm. 1819
- Apoyo técnico: Lic. Franz Augusto Barrios Mir
- Personal de apoyo: Departamento Técnico Planta SUPERBIA

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación se exponen los equipos e instrumentos utilizados:

3.4.1. Instrumentos de medición

Los siguientes instrumentos fueron utilizados:

- Brillómetro (Micro *Trigloss*)
- Balanza semianalítica

- Espectrofotómetro (data color 600)
- Picnómetro
- Termómetro
- Viscosímetro (KU-2)

3.4.2. Equipos auxiliares

El equipo auxiliar empleado fue:

- Horno o mufla
- Agitador

3.4.3. Materia prima

El siguiente material es utilizado como materia prima de la investigación:

- Pintura de aceite (varios colores)
- Resina aldehídica
- SMR
- SMV
- Secantes (sales metálicas de calcio, cobalto y zirconio)
- Tintes

3.4.4. Materiales

Estos son los materiales utilizados para realizar la investigación:

- Beacker (50, 100 y 250 ml)

- Espátula pequeña
- Espátula grande
- Mezclador metálico tipo hélice
- Recipientes metálicos

3.4.5. Equipo de librería

El equipo utilizado es el siguiente:

- Borrado
- Calculadora
- Cartulina
- Marcador permanente
- Lapiceros
- Lápices
- Tijeras

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

- Prueba de estabilidad: esta prueba está formada por dos grandes campos, el análisis visual experimental de la muestra y el análisis técnico. Estas dos aportan datos muy importantes sobre la muestra de pintura analizada. También se propone un método complementario. A continuación se detalla cada uno.
 - Método de análisis visual experimental: consiste en someter la muestra de pintura a evaluar, realizada con el solvente de reciclaje y/o la pasta concentrada. Esta muestra se dividirá en 2, una muestra será colocada en un horno a 60 °C durante 2 semanas y

se evaluará al cumplir este lapso de tiempo. La otra muestra será evaluada cada 24 horas para ver si presenta cambios durante el mismo lapso de tiempo.

Esta prueba permite acelerar el tiempo de vida de la muestra de pintura en anaquel y confirmar que a pesar de que la muestra sufrirá cambios con el tiempo, estos no serán bruscos y no dañaran el producto. Se tomarán observaciones al palpar la muestra. Se evaluará lo siguiente:

- Fluidez
 - Rompimiento de emulsión
 - Sedimentación
 - Sinéresis
- Método de análisis técnico: consiste en el análisis de las muestras en estabilidad mediante valores tangibles, los cuales en este caso, serán las propiedades fisicoquímicas de las muestras. Estos valores serán graficados finalmente para comprender por medio de un análisis gráfico, cómo se comportarán las muestras de pinturas y confirmar con valores numéricos si esta es estable con el paso del tiempo.

Las propiedades a medir en orden de importancia son:

- Densidad
- Viscosidad

Pueden ser medidas otras propiedades que sean necesarias pero queda a criterio y necesidad del desarrollo experimental del proyecto.

- Evaluación de la densidad, según Norma ASTM D 1475-85: la evaluación de la viscosidad se realiza utilizando un picnómetro cilíndrico para medir el peso por unidad de volumen (densidad) a una temperatura determinada. Posee una abertura grande para el ingreso de muestra líquida a medir y una tapadera con un pequeño orificio inclinado, el cual aumenta la precisión y elimina las burbujas de aire. Su medición, se realiza utilizando una balanza y es en gramos/mililitro. Para realizar la conversión a libras/galón se debe de dividir por 10.

Figura 2. **Picnómetro cilíndrico**



Fuente: NEIL J. Salkind. *Métodos de investigación*. p. 268.

- Evaluación de la viscosidad, según Norma ASTM D 562-10: Viscosímetro rotatorio de tipo Stormer utilizado para medir

la viscosidad de flujo en una pintura. Consta de dos paletas, las cuales al ser sumergidas en el fluido a evaluar giran aproximadamente a 200 RPM. Este mide la viscosidad, según la carga en el motor al rotar las paletas. Las unidades de medición de este equipo son las unidades Krebs (KU).

Figura 3. **Viscosímetro rotatorio tipo Stormer**



Fuente: NEIL J. Salkind. *Métodos de investigación*. p. 268.

- Evaluación del tiempo de secado, según Norma ASTM 1640-15: esta prueba evalúa el tiempo de secado al tacto y el curado total de una muestra de pintura a temperatura ambiente. Este método de prueba cubre la determinación

de varios pasos y promedios de formación de película, en el secado o curado de pinturas orgánicas. Estas normalmente son utilizadas bajo condiciones de temperatura ambiente (25 °C).

Figura 4. **Medidor de secado**



Fuente: Neil J. Salkind. *"Métodos de investigación"* p. 268.

- Evaluación del contenido de no volátiles. Porcentaje de sólidos, según Norma ASTM 2697-95: este método evalúa la cantidad de no volátiles presentes en una muestra de pintura (% p/p). Esto mediante el uso de recipientes donde se colocará la muestra y un horno o mufla. Se realiza durante 20 minutos a una temperatura de 150 °C.

Tabla X. **Especificaciones de equipo utilizado**

Nombre	Precisión	Incertidumbre	Tolerancia	Dimensional	Rango de medición	Modelo
Brillómetro	1 %	0,50 %	1,00 %	%	0 - 100	micro-Trigloss
Balanza semi-analítica	0.01 %	0,005 g	0,10 %	G	0- 2 000	HF Series
Espectrofotómetro	0.01 %	0,50 %	0,10 %	%	NA	Datacolor 600
Picnómetro	0.50 %	0,05 lb/gal	2 %	lb/gal	NA	U.S. Standard
Termómetro	1 %	0,5 °C	0,10 %	°C	(-10) a 150	A1 mercurio
Viscosímetro	1 %	0,5 KU	0,20 %	KU	40 -140	KU-2

Fuente: elaboración propia.

- Determinación de compatibilidad: método de chequeo el cual permite determinar el grado de compatibilidad de una mezcla y sus distintos componentes, mediante observaciones cualitativas. Es fundamental para predecir ciertos comportamientos futuros de una pintura.

Se realiza observando que no sucedan en las muestras, los comportamientos expuestos en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Observaciones físicas**

Observación	Muestra A	Muestra B
Brillo	Mayor	Bueno, menor.
Color	Dorado, más claro.	Café (bronce), más oscuro.
Incompatibilidad	Ninguna	Ninguna
Secado	Más rápido	Más lento
Turbidez	Muy Poca	Poca
Sinéresis	Ninguna	Ninguna

Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La recolección de la información se realizará mediante cuadernos de trabajo y bitácoras de trabajo en laboratorio. Estas deberán de indicar día, fecha, fase del proyecto y cualquier dato que sirva como guía de la información anotada en cada página. Deben estar numeradas y registradas con el formato que el laboratorio de la empresa exige. En la parte de atrás debe de contener un índice detallado.

Luego será trasladada a la computadora para almacenar de forma digital y procesar los datos obtenidos para la respectiva obtención de resultados, análisis de avance deseado y cualquier ajuste que sea necesario realizar.

El ordenamiento de la información se realizará con la ayuda de tablas y gráficas proporcionadas por un programa de computadora. Siendo en este caso Excel.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la solución

La tabulación se realizará colocando variables evaluadas obtenidas para cada campo específico. Estas tablas contendrán información numérica detallada.

El ordenamiento y procesamiento de la información se realizará utilizando una computadora y sus distintas herramientas para estos usos. Esta se realizará según el avance del proyecto lo requiera. La información ya procesada es la base para continuar con las siguientes fases de la experimentación. A continuación se presentan las tablas a utilizar:

3.7.1. Solvente mineral para limpieza

A continuación se presentan los modelos de resultados obtenidos.

Tabla XII. **Resultados para uso del solvente mineral para limpieza**

Núm. De Corrida	Tamaño del tanque (gal)	Cantidad SMV (toneles)	Cantidad SMR (toneles)
1			
2			
3			
4			
5			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Rendimiento comparativo**

Núm. De Corrida	Rendimiento SMV (gal/gal)	Rendimiento SMR (gal/gal)
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Solvente mineral como componente activo

A continuación se presenta las tablas para el componente activo.

Tabla XIV. **Condiciones de trabajo para la experimentación del solvente mineral como componente activo**

Muestra	Volumen (gal)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Muestra 1			
Muestra 2			
Muestra 3 (A)			
Muestra 3 (B)			
Muestra 3 (C)			

Fuente: elaboración propia.

Donde:

Nombre	Significado
M1	Muestra 1
M2	Muestra 2
M3 A	Muestra 3 (25 % de sustitución)
M3 B	Muestra 3 (50 % de sustitución)
M3 C	Muestra 3 (75 % de sustitución)

Tabla XV. **Evaluación de propiedades de pintura realizada con SMR como componente activo**

Corrida	Densidad (lb/gal)	Viscosidad (KU)	Solidos (% NV)	Secado al tacto (horas)	Secado total (horas)	Brillo (%)
M1						
M2						
M3 A						
M3 B						
M3 C						

Fuente: elaboración propia.

Donde:

Nombre	Significado
M1	Muestra 1
M2	Muestra 2
M3 A	Muestra 3 (25% de sustitución)
M3 B	Muestra 3 (50% de sustitución)
M3 C	Muestra 3 (75% de sustitución)

Tabla XVI. **Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMV**

Nombre	Observación	Resultado
Aumento en la tixotropía		
Sedimentación		
Separación		
Sinéresis		
Envejecimiento		
Prueba de Emulsión		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMR**

Nombre	Observación	Resultado
Aumento en la tixotropía		
Sedimentación		
Separación		
Sinéresis		
Envejecimiento		
Prueba de Emulsión		

Fuente: elaboración propia.

3.7.3. Solvente mineral para aplicación

A continuación se presenta las tablas para el solvente mineral para aplicación:

Tabla XVIII. **Diluciones realizada de pintura de aceite color núm. 1, para muestra de SMV y SMR**

Dilución (%)	Realizada	No Realizada
3		
5		
7		
9		
11		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMV**

Diluciones (%)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0						
3						
5						
7						
9						
11						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMR**

Diluciones (%)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0						
3						
5						
7						
9						
11						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Diluciones realizada de pintura de aceite color núm. 2, para muestra de SMV y SMR**

Dilución (%)	Realizada	Núm Realizada
3		
5		
7		
9		
11		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 2 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMV**

Diluciones (%)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0						
3						
5						
7						
9						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 2 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMR

Diluciones (%)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0						
3						
5						
7						
9						
11						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Propiedades de PR

Propiedad	Valor	Dimensionales
Densidad		
Viscosidad		
%NV		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Evaluación de dosificación de secantes utilizados para lograr tiempo de secado \leq 6 horas

Muestra	Volumen	Cobalto (%)	Circonio (%)	Calcio (%)	Tiempo de Secado (horas)
1					
2					
3					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Formula final de pintura anticorrosiva realizada a base de PR**

Núm.	Componente	Cantidad (%)
1		
2		
3		
4		
Total		100%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Propiedades obtenidas durante la experimentación de la pintura anticorrosiva a base de PR**

Propiedades	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio	Rango
Densidad (lb/gal)					
Viscosidad (KU)					
Secado (horas)					
Solidos (%)					
Temperatura (°C)					
Humedad relativa (%)					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Propiedades de pintura anticorrosiva realizada a base de PR**

Propiedades	Valor	Dimensionales
Densidad		
Viscosidad		
%NV		
Secado		
Color		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Detalle sobre el manejo de la pintura anticorrosiva realizada a base de PR**

Propiedades	Valor
Almacenaje	
Color	
Costo	

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se presenta a continuación el diseño del análisis estadístico:

3.8.1. Diseño experimental

El análisis estadístico de los datos se realizará por medio de un análisis multivariante de varianza (Manova). Este es utilizado en los casos donde las variables a evaluar no pueden ser combinadas fácilmente.

Este análisis permite determinar si los cambios en las variables independientes tienen algún efecto significativo en las variables dependientes. Este análisis identifica las interacciones entre las variables dependientes e independientes.

Tabla XXX. **Arreglo rectangular para tratamientos con 3 replicas**

		Densidad	Viscosidad
		P	μ
Concentración	[] 1	X1A1	X2A1
		X1A2	X2A2
		X1A3	X2A3
	[] 2	X1B1	X2B1
		X1B2	X2B2
		X1B3	X2B3
	[] 3	X1C1	X2C1
		X1C2	X2C2
		X1C3	X2C3
	[] 4	X1D1	X2D1
		X1D2	X2D2
		X1D3	X2D3
	[] 5	X1E1	X2E1
		X1E2	X2E2
		X1E3	X2E3
	[] 6	X1F1	X2F1
		X1F2	X2F2
		X1F3	X2F3

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- [] 1 Concentración 1 (0%)
- [] 2 Concentración 2 (3%)
- [] 3 Concentración 3 (5%)
- [] 4 Concentración 4 (7%)
- [] 5 Concentración 5 (9%)
- [] 6 Concentración 6 (11%)
- P Densidad (lb/gal)
- μ Viscosidad (KU)

Los datos a evaluarse son los comportamientos que se obtienen sobre la densidad y viscosidad al variar la dilución de una muestra de pintura de aceite. Estos datos podrán revelar la interacción de estas variables al variar la concentración de solvente mineral.

Tabla XXXI. **Arreglo de [] $\Theta\rho\phi$ para el análisis de la relación directa entre variables dependientes e independientes**

	Concentración						Sumatoria [] Θ
	0%	3%	5%	7%	9%	11%	
Densidad	$\rho1[]1$	$\rho1[]2$	$\rho1[]3$	$\rho1[]4$	$\rho1[]5$	$\rho1[]6$	[] $1\rho\phi$
Viscosidad	$\mu1 []1$	$\mu1 []2$	$\mu1 []3$	$\mu1 []4$	$\mu1 []5$	$\mu1 []6$	[] $2\rho\phi$
Sumatoria ($V\theta_i$)	$V\Theta []1$	$V\Theta []2$	$V\Theta []3$	$V\Theta []4$	$V\Theta []5$	$V\Theta []6$	[] $\Theta\rho\phi$

Fuente: elaboración propia.

Para analizar de la mejor forma los datos se adjuntan a continuación, los datos tabulados y su forma de calcular.

Cálculo de la media muestral

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \vdots \\ \bar{X}_p \end{pmatrix} \qquad \bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

Matriz de covarianza

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1p} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{p1} & S_{p2} & \cdots & S_{pp} \end{pmatrix}$$

Varianza muestral:

$$S_{jj} = S_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

Covarianza muestral:

$$S_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)(X_{ik} - \bar{X}_k)$$

Matriz de correlaciones

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad r_{jk} = \frac{S_{jk}}{S_j S_k}$$

El coeficiente toma valores entre -1 y 1. El signo indica si la relación es negativa o positiva.

Tabla XXXII. **Análisis de la multivarianza para los factores a actualizar**

Tabla general MANOVA			
	g. l.	matriz Wishart	lambda de Wilks
Desviación hipótesis	t	$\mathbf{R}_1 - \mathbf{R}_0$	$\Lambda = |\mathbf{R}_0|/|\mathbf{R}_1|$
Residuo	$n - r$	\mathbf{R}_0	

Criterio decisión: Si $\Lambda < \Lambda_\alpha$ se rechaza H_0 , donde $P(\Lambda(p, n - r, t) < \Lambda_\alpha) = \alpha$.

Fuente: NEIL J. Salkind. *Métodos de investigación*. p. 75.

También se realizara el cálculo de coeficiente de relación de Pearson.

Este método calcula la correlación entre variables de la siguiente forma:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum(x - \bar{x})^2\right]\left[\sum(y - \bar{y})^2\right]}}$$

(3)

Donde:

r_{xy} = coeficiente de correlación

X = puntaje de un individuo en la variable x

Y = puntaje de un individuo en la variable y

\bar{X} = media de la muestra para la variable x

\bar{Y} = media de la muestra para la variable y

Interpretación para el coeficiente de correlación: debido a que este coeficiente representa el grado de relación entre variables debe de interpretarse en base a la siguiente tabla.

Tabla XXXIII. **Interpretación para el coeficiente de correlación**

Correlaciones entre	Se consideran
0.8 - 1.0	muy fuertes
0.6 - 0.8	fuertes
0.4 - 0.6	moderadas
0.2 - 0.4	débiles
0 - 0.2	muy débiles

Fuente: NEIL J. Salkind. *Métodos de investigación*. p. 226.

3.9. Plan de análisis de los resultados

A continuación se detalla cuál es el plan de análisis de los datos.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

El análisis de los resultados se hará de forma comparativa, ya que como se mencionó, se realizarán pruebas control para que puedan ser utilizadas como estándares.

Además de estas muestras control también se realizará el análisis comparativo con los valores estándar de aprobación del Departamento de Control de Calidad de Producto Terminado, para el código realizado como muestras testigo.

La predicción de comportamientos será regida por el análisis y uso de modelos gráficos. Estos permiten observar de una mejor forma la tendencia de cambio de un experimento, respecto al tiempo.

3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos

Se utilizará Microsoft Excel para realizar el análisis de los valores obtenidos, así como el modelado de las gráficas y la obtención de ecuaciones de ser necesario y posible.

4. RESULTADOS

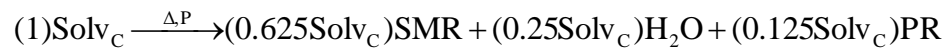
4.1. Balance

Balance para proceso de reutilización de solvente mineral contaminado:



(1)

Ecuación de Balance según rendimiento real para proceso de reutilización de solvente mineral contaminado:



(2)

Donde:

Sol c: solvente mineral contaminado o de limpieza

SMR: solvente mineral reciclado

PR: pasta concentrada reciclada

Tabla XXXIV. **Resultado experimental para el reciclaje de solvente mineral**

núm.	SMC (kg)	SMR (kg)	H2O (kg)	PR (kg)
1	1 000	639	240	121
2	1 000	610	278	112
3	1 000	620	215	165
4	1 000	550	300	150
5	1 000	630	160	210
6	1 000	620	245	135
7	1 000	633	240	127
8	1 000	625	250	125
9	1 000	622	244	134
10	1 000	634	243	123

Fuente: elaboración propia.

4.2. Solvente mineral para limpieza

Se presenta a continuación los resultados del solvente mineral para limpieza.

Tabla XXXV. **Resultados para uso del solvente mineral para limpieza**

núm. de corrida	Tamaño del tanque (gal)	Cantidad SMV (toneles)	Cantidad SMR (toneles)
1	250	2,75	3,00
2	550	6,25	6,00
3	1 000	10,25	10,5
4	550	5,75	5,75
5	550	6,00	6,25

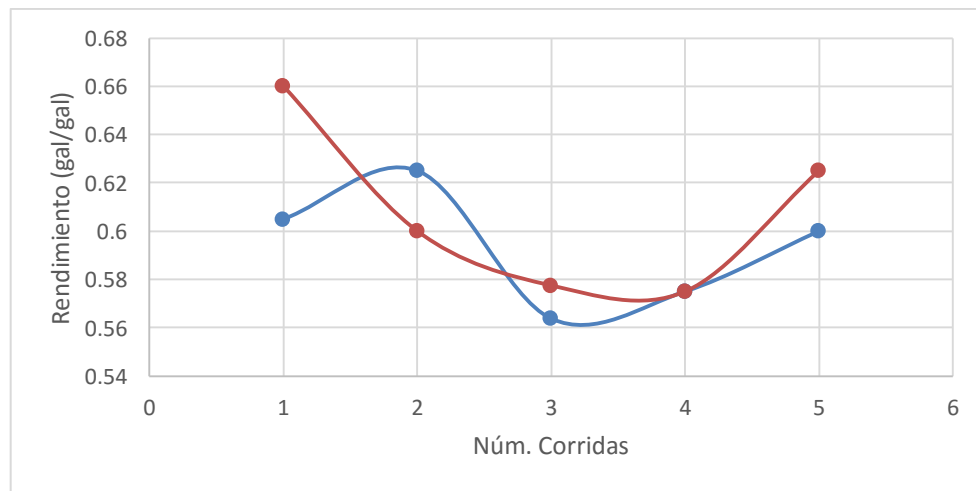
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Rendimiento comparativo

Núm. de corrida	Rendimiento SMV (gal/gal)	Rendimiento SMR (gal/gal)
1	0,605	0,660
2	0,625	0,600
3	0,564	0,578
4	0,575	0,575
5	0,600	0,625

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Rendimiento comparativo SMV vs. SMR



Fuente: elaboración propia.

Donde:

Símbolo	Significado	Dimensional
	Rendimiento SMV	gal/gal
	Rendimiento SMR	gal/gal

4.3. Solvente mineral como componente activo

Se presenta a continuación los resultados para el solvente mineral como componente activo.

Tabla XXXVII. **Condiciones de trabajo para la experimentación del solvente mineral como componente activo**

Muestra	Volumen (gal)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Muestra 1	¼	33	52
Muestra 2	¼	33	52
Muestra 3 (A)	¼	32	48
Muestra 3 (B)	¼	32	48
Muestra 3 (C)	¼	32	48

Fuente: elaboración propia.

Donde:

Nombre	Significado
M1	Muestra 1
M2	Muestra 2
M3 A	Muestra 3 (25 % de sustitución)
M3 B	Muestra 3 (50 % de sustitución)
M3 C	Muestra 3 (75 % de sustitución)

Tabla XXXVIII. **Evaluación de propiedades de pintura realizada con SMR como componente activo**

Corrida	Densidad (lb/gal)	Viscosidad (KU)	Solidos (% NV)	Secado al tacto (horas)	Secado total (horas)	Brillo (%)
M1	8,01	104,23	11,74	4,50	9,0	92
M2	8,00	98,7	10,80	4,00	8,0	96
M3 A	8,04	114	11,20	4,75	9,5	90
M3 B	8,02	108	11,50	4,50	9,0	92
M3 C	8,02	102	11,60	4,25	8,5	95

Fuente: elaboración propia.

Donde:

Nombre	Significado
M1	Muestra 1
M2	Muestra 2
M3 A	Muestra 3 (25% de sustitución)
M3 B	Muestra 3 (50% de sustitución)
M3 C	Muestra 3 (75% de sustitución)

Tabla XXXIX. **Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMV**

Nombre	Observación	Resultado
Aumento en la tixotropía	Ninguna	NO
Sedimentación	Ninguna	NO
Separación	Ninguna	NO
Sinéresis	La sinéresis presente es mínima. Se logra reincorporar aplicando agitación suave y constante.	LEVE
Envejecimiento	Ninguna	OK
Prueba de Emulsión	Ninguna	OK

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura de aceite utilizando SMR**

Nombre	Observación	Resultado
Aumento en la tixotropía	Ninguna	NO
Sedimentación	Ninguna	NO
Separación	Ninguna	NO
Sinéresis	La sinéresis presente es mínima. Se logra reincorporar aplicando agitación suave y constante.	LEVE
Envejecimiento	Ninguna	OK
Prueba de Emulsión	Ninguna	OK

Fuente: elaboración propia.

4.4. Solvente mineral para aplicación

Se presenta a continuación los resultados para el solvente mineral para aplicación.

Tabla XLI. **Diluciones realizada de pintura de aceite color núm. 1, para muestra de SMV y SMR**

Dilución (%)	Realizada	No Realizada
3	X	
5	X	
7	X	
9	X	
11	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMV**

Diluciones (%)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0	8,23	98	8,25	103,3	8,24	101,3
3	8,21	93	8,21	95,4	8,21	96,0
5	8,19	79	8,20	81,2	8,19	82,8
7	8,18	74	8,18	76,6	8,17	76,8
9	8,14	68	8,14	70,1	8,14	70,4
11	8,12	61,1	8,13	64,0	8,13	66,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Evaluación de propiedades de pintura de aceite color núm. 1 al paso del tiempo según propiedades para cada dilución realizada, utilizando SMR**

Diluciones (%)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0	8,03	96	8,04	97,8	8,04	102,1
3	8,00	91	8,01	95,2	8	98
5	7,99	83	7,99	88	7,99	90
7	7,96	71,4	7,96	74,8	7,97	76,3
9	7,94	66,5	7,94	70	7,94	72,1
11	7,91	59,9	7,92	63,3	7,91	66,7

Fuente: elaboración propia.

4.5. Pasta anticorrosiva

Se presenta a continuación los resultados para la pasta anticorrosiva.

Tabla XLIV. **Propiedades de PR sin dosificación de secantes**

Propiedad	Valor	Dimensionales
Densidad	8,62	lb/gal
Viscosidad	85	KU
%NV	44	%
Secado	96	horas
Color	tonalidad verdosa grisácea	NA

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Evaluación de dosificación de secantes utilizados para lograr tiempo de secado ≤ 6 horas**

Muestra	Volumen (gal)	Cobalto (%)	Circonio (%)	Calcio (%)	Tiempo de Secado (horas)
1	¼	0	0	0	96
2	¼	0,80	3,28	3,17	18
3	¼	0,53	3,11	2,19	≤ 6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Propiedades de PR con ideal dosificación de secantes**

Propiedad	Valor	Dimensionales
Densidad	8,62	lb/gal
Viscosidad	85,0	KU
%NV	43,98	%
%NV	43,96	%
Secado	≤ 6	horas
Color	Tonalidad verde grisácea	NA

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Fórmula final de pintura anticorrosiva realizada a base de PR**

Núm.	Componente	Cantidad (%)
1	PR	97,83
2	Sal de Cobalto	0,24
3	Sal de Circonio	0,95
4	Sal de Calcio	0,98
Total		100 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Resultados de método de análisis visual experimental para muestra de pintura anticorrosiva a base de PR**

Nombre	Observación	Resultado
Aumento en la tixotropía	Ninguna	NO
Sedimentación	Ninguna	NO
Separación	Ninguna	NO
Sinéresis	La sinéresis presente es mínima. Se logra reincorporar aplicando agitación suave y constante.	LEVE
Envejecimiento	Ninguna	OK

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Propiedades obtenidas durante la experimentación de la pintura anticorrosiva a base de PR**

No. Corrida	Densidad (lb/gal)	Viscosidad (KU)	Secado (horas)	NV (%)	Temperatura muestra (°C)
1	8,68	87	3	42,50	25
2	8,45	92	5	48,95	25
3	8,71	98	1	42,22	25
4	8,92	84	6	41,29	25
5	8,69	74	3	42,87	25
6	8,58	82	2	45,15	25
7	8,64	100	7	47,30	25
8	8,63	90	5	41,21	25
9	8,72	85	2	47,80	25
10	8,59	70	4	46,12	25
Media	8,66	86,20	3,80	44,54	-
Varianza	0,01	90.4	3,73	8,28	-
Desv. Est.	0,12	9,51	1,93	2,88	-

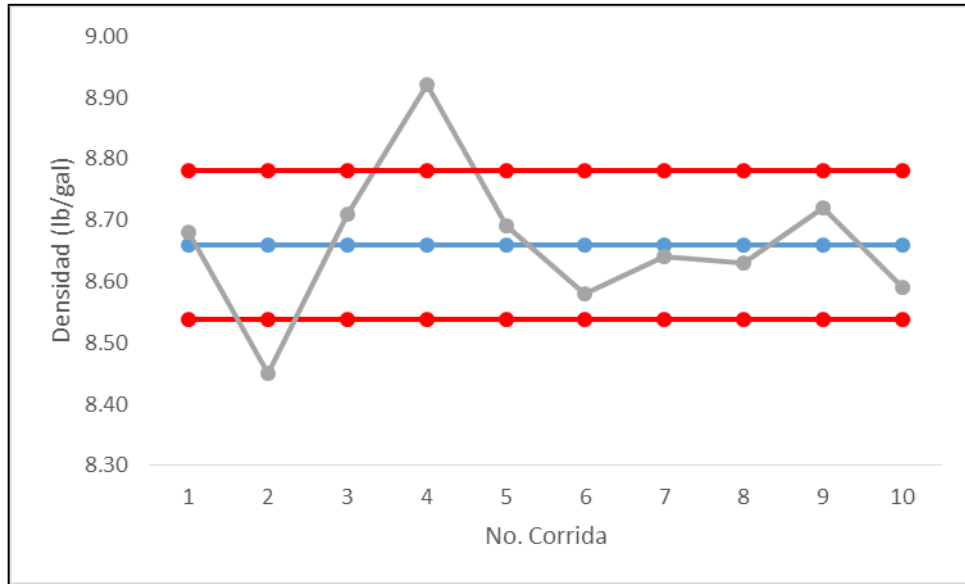
Fuente: elaboración propia.

4.6. Análisis estadístico

Se presenta a continuación los resultados para el análisis estadístico.

- Gráficos de control: permiten determinar y observar si los rangos de aprobación limitados son adecuados para cada propiedad fisicoquímica a evaluar para la pintura anticorrosiva. Con base en estos y el cálculo matemático de desviación estándar, se establecieron los estándares de aprobación de calidad para las propiedades fisicoquímicas de la pintura anticorrosiva, según resultados obtenidos experimentalmente.

Figura 6. Gráfico de control de la densidad

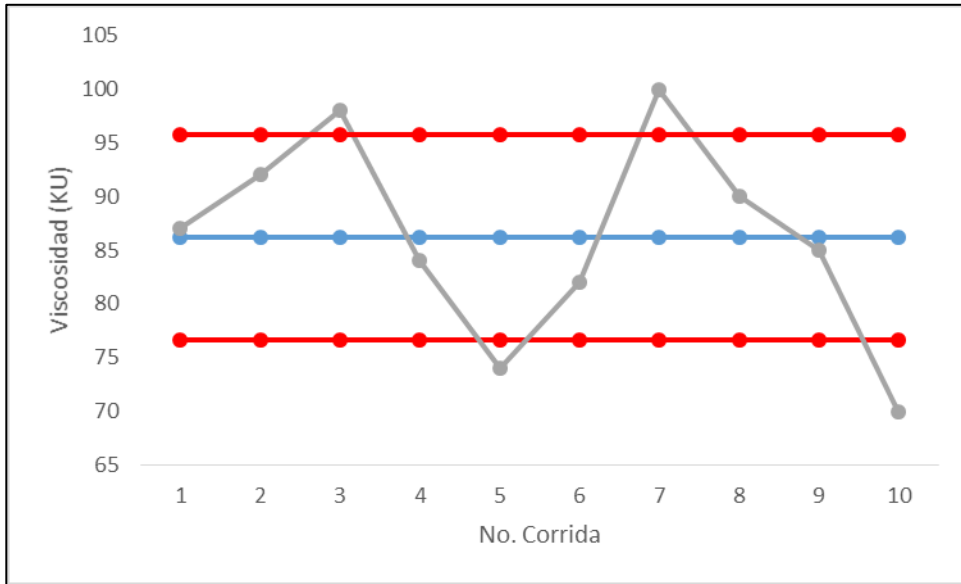


Fuente: elaboración propia.

Donde:

Símbolo	Significado	Rango aprobación (lb/gal)
—●—	Límite inferior y superior.	$\pm 0,12$
—●—	Valor central.	8,66
—●—	Valor experimental.	NA

Figura 7. Gráfico de control de la viscosidad

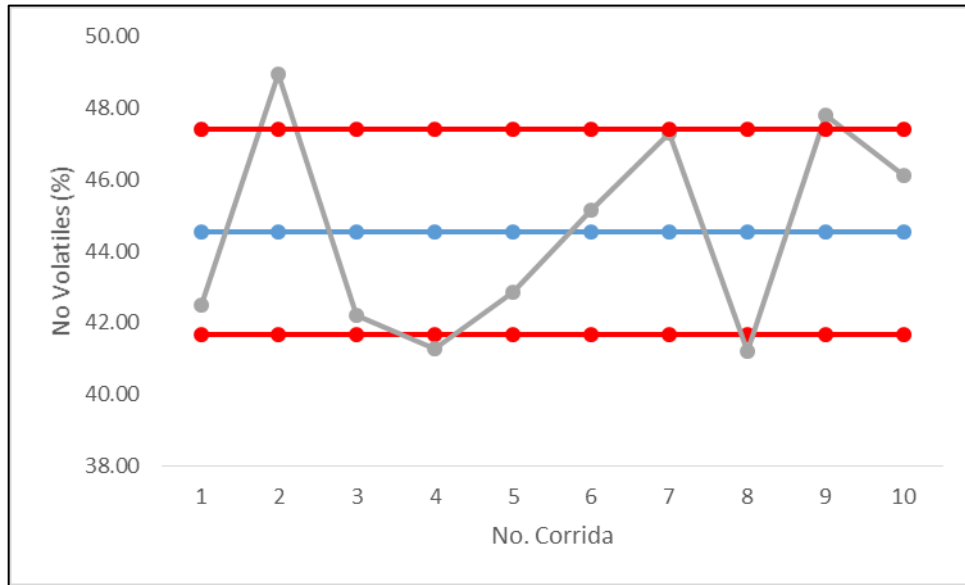


Fuente: elaboración propia.

Donde:

Símbolo	Significado	Rango aprobación (KU)
—●—	Límite inferior y superior.	$\pm 9,51$
—●—	Valor central.	86,2
—●—	Valor experimental.	NA

Figura 8. Gráfico de control del porcentaje de NV

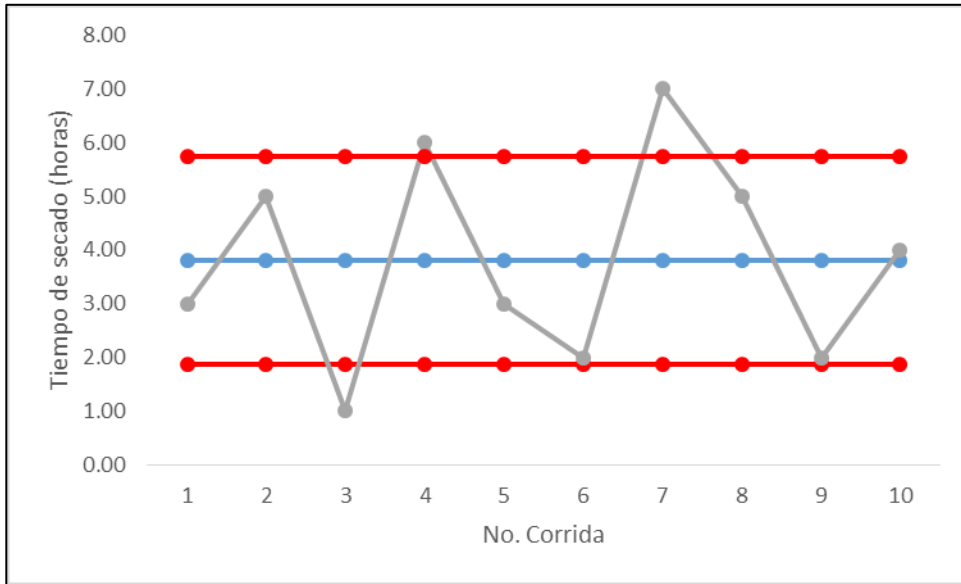


Fuente: elaboración propia.

Donde:

Símbolo	Significado	Rango aprobación (%)
—●—	Límite inferior y superior.	$\pm 2,88$
—●—	Valor central.	44,54
—●—	Valor experimental.	NA

Figura 9. Gráfico de control del tiempo de secado



Fuente: elaboración propia.

Donde:

Símbolo	Significado	Rango aprobación (horas)
—●—	Límite inferior y superior.	$\pm 1,93$
—●—	Valor central.	3,80
—●—	Valor experimental.	NA

Tabla L. **Estándares de aprobación de propiedades fisicoquímicas de pintura anticorrosiva**

Propiedad	Rango	Dimensional
Densidad	8,54-8,78	Lb/Gal
Viscosidad	76,7-95,7	KU
No Volátiles	41,66-47,42	%
Tiempo de secado	2-6	horas
Color	Verdoso-grisáceo	NA

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Detalle sobre el manejo de la pintura anticorrosiva realizada a base de PR**

Propiedades	Valor
Almacenaje	Toneles de 55 galones
Color	Tonos verdes grisáceos
Costo	1,02 (X)

Fuente: elaboración propia.

Donde:

X: costo del SMV.

4.7. Análisis estadístico Manova

Se presenta a continuación los resultados estadísticos por el método de Manova.

4.7.1. Manova para solvente mineral para aplicación

Resultados para el modelo lineal.

4.7.1.1. Modelo lineal general

A continuación se presentan los resultados para el modelo línea general.

Tabla LII. Factores intersujetos

		Etiqueta de valor	N
Dilución	0,00	0 %	6
	1,00	3 %	6
	2,00	5 %	6
	3,00	7 %	6
	4,00	9 %	6
	5,00	11 %	6
Color	0,00	Color 1	18
	1,00	Color 2	18
Tiempo	0,00	Día 1	12
	1,00	Día 2	12
	2,00	Día 3	12

Fuente: elaboración propia, empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

Tabla LIII. Pruebas multivariante^a

Efecto	Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Interceptación	Traza de Pillai	.	b	.	.
	Lambda de Wilks	.	b	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.
Dilución	Traza de Pillai	.	b	.	.
	Lambda de Wilks	.	b	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.
Color	Traza de Pillai	.	b	.	.
	Lambda de Wilks	.	b	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.
Tiempo	Traza de Pillai	.	b	.	.
	Lambda de Wilks	.	b	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.
Dilución Color	* Traza de Pillai	.	b	.	.
	Lambda de Wilks	.	b	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.

Continuación de la tabla LIII.

	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.	.
Dilución	* Traza de Pillai	.	b	.	.	.
Tiempo	Lambda de Wilks	.	b	.	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.	.
Color * Tiempo	Traza de Pillai	.	b	.	.	.
	Lambda de Wilks	.	b	.	.	.
	Traza de Hotelling	.	b	.	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.	.
Dilución	* Traza de Pillai	.	b	.	.	.
Color	* Lambda de Wilks	.	b	.	.	.
Tiempo	Traza de Hotelling	.	b	.	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	b	.	.	.

Fuente: elaboración propia, empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

- Diseño: interceptación + dilución + color + tiempo + dilución * color + dilución * tiempo + color * tiempo + dilución * color * tiempo
- Estadístico exacto

Tabla LIV. **Pruebas de efectos intersujetos**

Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	Densidad	0,441 ^a	35	0,013	.	.
	Viscosidad	6 381,163 ^a	35	182,319	.	.
Interceptación	Densidad	2 348,856	1	2 348,856	.	.
	Viscosidad	236 698,467	1	236 698,467	.	.
Dilución	Densidad	0,058	5	0,012	.	.
	Viscosidad	6 146,138	5	1 229,228	.	.
Color	Densidad	0,382	1	0,382	.	.
	Viscosidad	0,723	1	0,723	.	.
Tiempo	Densidad	0,000	2	7,500E-5	.	.
	Viscosidad	143,796	2	71,898	.	.
Dilución * Color	Densidad	0,000	5	3,611E-5	.	.
	Viscosidad	65,009	5	13,002	.	.
Dilución * Tiempo	Densidad	0,000	10	1,833E-5	.	.
	Viscosidad	3,814	10	0,381	.	.
Color * Tiempo	Densidad	5,556E-6	2	2,778E-6	.	.
	Viscosidad	13,607	2	6,803	.	.
Dilución * Color * Tiempo	Densidad	0,000	10	3,278E-5	.	.
	Viscosidad	8,077	10	0,808	.	.
Error	Densidad	0,000	0	.		
	Viscosidad	0,000	0	.		
Total	Densidad	2 349,298	36			
	Viscosidad	243 079,630	36			
Total corregido	Densidad	0,441	35			
	Viscosidad	6 381,163	35			

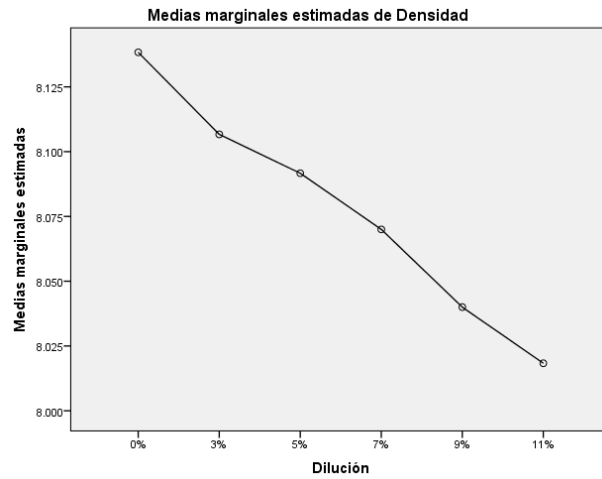
Fuente: elaboración propia, empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

- R al cuadrado = 1 000 (R al cuadrado ajustada =)

4.7.1.2. Gráficos de perfil

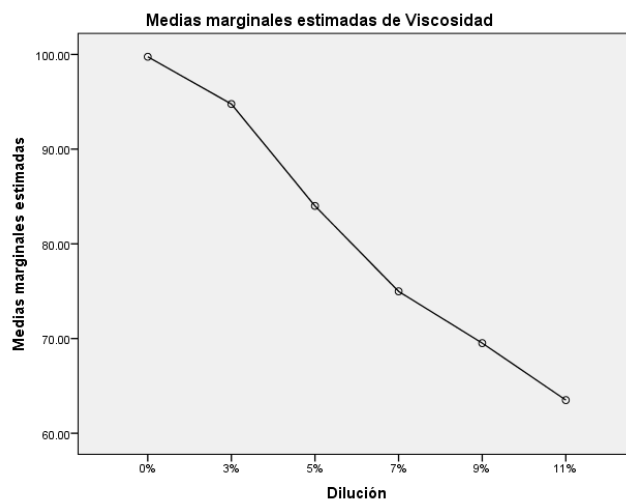
Se presentan a continuación los gráficos de los distintos comportamientos.

Figura 10. **Comportamiento del cambio de la densidad (libra/galones) vs. dilución**



Fuente: elaboración propia, empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

Figura 11. **Comportamiento del abatimiento de la viscosidad (KU) vs. dilución**



Fuente: elaboración propia, empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

4.7.1.3. Correlaciones

Se presenta a continuación las correlaciones.

Tabla LV. Correlaciones

		Densidad	Viscosidad
Densidad	Correlación de Pearson	1	0,343 [*]
	Sig. (bilateral)		0,041
	N	36	36
Viscosidad	Correlación de Pearson	0,343 [*]	1
	Sig. (bilateral)	0,041	
	N	36	36

Fuente: elaboración propia, empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

4.7.2. Manova para solvente mineral como componente básico

Se presentan a continuación los resultados del Manova para el solvente mineral como componente básico.

4.7.2.1. Modelo lineal general

A continuación se presenta los valores para el modelo lineal general.

Tabla LVI. **Factores intersujetos**

	Etiqueta de valor	N
Corrida 0,0	M1	1
1,0	M2	1
2,0	M3 A	1
3,0	M3 B	1
4,0	M3 C	1

Fuente: elaboración propia empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

Tabla LVII. **Pruebas multivariante^a**

Efecto	Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	ig.
Interceptación	Traza de Pillai	.	.	.	.
	Lambda de Wilks	.	.	.	.
	Traza de Hotelling	.	.	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	.	.	.
Corrida	Traza de Pillai	.	.	.	.
	Lambda de Wilks	.	.	.	.
	Traza de Hotelling	.	.	.	.
	Raíz mayor de Roy	.	.	.	.

Fuente: elaboración propia empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

- Diseño : Interceptación + Corrida
- Estadístico exacto

Tabla LVIII. Pruebas de efectos intersujetos

Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	ig.
Modelo corregido	Densidad	0,001 ^a	4	0,000	
	Viscosidad	1380,538 ^a	4	34,634	
	NV	0,560 ^a	4	0,140	
	Secado_tacto	0,325 ^a	4	0,081	
	Secado_total	1,300 ^a	4	0,325	
	Brillo	24,000 ^a	4	6,000	
Interceptación	Densidad	321,442	1	321,442	
	Viscosidad	55 531,045	1	55 531,045	
	NV	646,157	1	646,157	
	Secado_tacto	96,800	1	96,800	
	Secado_total	387,200	1	387,200	
	Brillo	43 245,000	1	43 245,000	
Corrida	Densidad	0,001	4	0,000	
	Viscosidad	138,538	4	34,634	
	NV	0,560	4	0,140	
	Secado_tacto	0,325	4	0,081	
	Secado_total	1,300	4	0,325	
	Brillo	24,000	4	6,000	
Error	Densidad	0,000	0	.	
	Viscosidad	0,000	0	.	
	NV	0,000	0	.	
	Secado_tacto	0,000	0	.	
	Secado_total	0,000	0	.	
	Brillo	0,000	0	.	
Total	Densidad	321,443	5		
	Viscosidad	55 669,583	5		
	NV	646,718	5		
	Secado_tacto	97,125	5		
	Secado_total	388,500	5		

Continuación de la tabla LVIII.

	Brillo	43 269,000	5			
Total	Densidad	.001	4			
corregido	Viscosidad	138.538	4			
	NV	.560	4			
	Secado_tacto	.325	4			
	Secado_total	1.300	4			
	Brillo	24.000	4			

Fuente: elaboración propia empleando IBM SPSS *Estatics* 22.

- R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = .)

4.7.2.2. Correlaciones

Se presentan a continuación las correlaciones.

4.8. Manual de procedimiento para el manejo de solvente mineral reciclado SMR y sus derivados

A continuación se presenta el procedimiento.

- Obtención: abarcada en el marco teórico.
- Manejo

Se presenta a continuación el manejo para cada componente:

- Solvente mineral contaminado: el solvente mineral contaminado debe ser manejado en contenedores cerrados, cuando no se esté utilizando. Al momento de emplearlo debe ser destapado el contenedor lentamente para liberar la presión.

Estos contenedores deben manejarse de forma en que se evite fugaz o derrames, ya que puede causar daños graves al medio ambiente y a la salud. Idealmente los recipientes y contenedores deben ser aterrizados y manejados en lugares frescos, lejos de fuentes de ignición o calor. Evitar presurizar los recipientes.

Se sugiere manejarlos en toneles metálicos de 55 galones, los cuales puedan ser sellados, y permiten evitar su degradación, escape o fuga y contaminación. Si existiera residuos no deben ser vertidos en las alcantarillas o desagües. Evite el contacto prolongado con la piel y utilice equipo de seguridad adecuado, este equipo será detallado en la sección posterior de equipo de protección aconsejado.

- Solvente mineral reciclado (SMR): se debe de evitar cualquier derrame o fuga, ya que podría ser un peligro potencial inmediato de fuego o explosión. Los recipientes y contenedores se deben mantener cerrados, en ambientes controlados, ventilados, frescos y alejados de cualquier fuente de calor o ignición. Deben ser aterrizados los contenedores y recipientes. Al momento de utilizar los recipientes o contenedores deben abrirse lentamente para liberar la presión.

Evitar el contacto con materiales oxidables. Las condiciones que no se encuentren en equilibrio pueden aumentar el riesgo de incendios asociados a este producto. Cualquier carga estática se puede acumular cuando este producto este fluyendo a través de tuberías, inyectores o filtros cuando se agita. No es aconsejable su manipulación bajo cualquier condición si los recipientes y equipos a utilizar no están aterrizados.

No se debe llenar cualquier tipo de envase utilizando aire comprimido o realizar cualquier otro tipo de manejo bajo esta condición. Se debe evitar exponer los recipientes llenos a chispas, fuentes de calor o ignición. Se debe tener sumo cuidado con los recipientes y contenedores vacíos, ya que pueden contener residuos de solvente mineral que pueden encenderse con fuerza de explosión. No se debe verter los residuos a las alcantarillas.

Su manejo debe ser en totes plásticos resistentes y limpios o recipientes de 1 000 Kg en las mismas condiciones, deben de poseer tapadera o tapón y ser a prueba de fugaz. Se aconseja utilizar recipientes o contenedores con algún tipo de estructura que le de protección extra, para evitar su ruptura o daño por cualquier golpe recibido al manipularlo.

Evitar el contacto prolongado con la piel, ropa, ojos, nariz y boca para evitar cualquier tipo de ingestión. Se debe manejar únicamente utilizando el equipo de protección adecuado el cuál se indicará en secciones posteriores.

- Pasta sólida concentrada (PR): esta debe manejarse cuidadosamente para evitar la contaminación, desgaste o derrame de esta pasta concentrada. Debe manejarse en recipientes metálicos cerrados, de preferencia toneles metálicos de 55 galones.

Evitar manejar bajo condiciones inseguras, ya que es dañino para el medio ambiente y la salud. A pesar de que su inflamabilidad es menor que la que poseída previo a su separación o al solvente mineral reciclado (SMR). Debe de evitarse el contacto con chispas, fuentes de ignición y corriente eléctrica para evitar fuegos o explosiones.

- Almacenaje

- Solvente mineral contaminado: almacenar en toneles metálicos de 55 galones. Estos deben estar firmemente cerrados y apilados verticalmente, para evitar su fuga o derrame. Debe de ser almacenados en lugares frescos, secos y lejanos a fuentes de calor o ignición. Evitar el almacenaje a la intemperie o bajo el sol. Almacenar en lugares ventilados,
- Solvente mineral reciclado (SMR): almacenar en lugares frescos, secos y ventilados. En recipientes plásticos llamados totes o recipientes de 1 000 Kg. Deben de estar almacenados en contenedores aprobados y firmemente cerrados, utilizados para almacenar sustancias volátiles. Estos deben de poseer algún tipo de estructura que permita proteger contra el daño físico del contenedor.

No almacenar con agentes oxidantes, ni a temperaturas elevadas o con luz directa del sol. Deben ser almacenados en un lugar eléctricamente aterrizado y lejano a cualquier fuente de calor o ignición, evitar chispas y llamas. De preferencia en áreas acondicionados para evitar fuegos, que posean diques de contención.

Pasta sólida concentrada (PR): almacenar en toneles metálicos de 55 Kg cerrados. Ubicar en lugares frescos, lejos de cualquier fuente de ignición. Si se apilan debe de ser de forma vertical para evitar derrames. Evitar almacenar a la intemperie.

- Transporte: se presenta a continuación la información sobre el transporte.
 - Solvente mineral contaminado: se debe transportar en los mismos recipientes o contenedores donde se almacena. Se debe evitar colocarlos de forma horizontal. No agitarlos constantemente para evitar derrames o fugas. Evitar cualquier condición de transporte insegura. Evitar almacenar junto a agentes oxidantes.

Al momento de ubicarlos en el furgón o contenedor de carga deben ser asegurados los recipientes de transporte, para evitar la fuerte agitación. También colabora a esto movilizarlo a velocidades bajas.

- Solvente mineral reciclado (SMR): el transporte de este producto debe realizarse a bajas velocidades, mediante sistemas cerrados y no debe utilizarse presión de aire para la descarga. Se debe transportar tomando la normativa de materiales y residuos

peligrosos, inflamables y explosivos. Utilizar los recipientes en donde se encuentra almacenado o utilizar transportes especializados para sustancias inflamables.

Debe transportarse en condiciones ambientales seguras, siendo estas: ambiente seco, ventilado y libre de fuentes de ignición, calor o energía estática. Evitar transportar bajo el sol, con sumo cuidado para evitar la formación de gases inflamables debido a la agitación.

Si se transportan grandes volúmenes utilizar silos móviles horizontales para sustancias líquidas inflamables.

- Pasta sólida concentrada (PR): transportar en recipientes cerrados. Evitar la contaminación del producto. Los recipientes o contenedores deben ser ubicados de forma vertical para su evitar su derrame. Transportar en un ambiente fresco y seco. Transportar a velocidades moderadas.
- Equipo de protección aconsejado: se presenta a continuación el equipo de protección aconsejado:

Tabla LIX. **Equipo de protección aconsejado**

Equipo	Solvente mineral residual	Solvente mineral reciclado (SMR)	Pasta sólida concentrada (PR)
Lentes o gafas de seguridad	X	X	X
Guantes para uso industrial	X		X
Guantes resistentes a químicos		X	
Mascarilla para vapores	X	X	
Respirador de vapor orgánico		X	
Ropa no inflamable.	X	X	
Ropa de manga larga	X	X	X
Delantal			X
Botas industriales	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

- Indicaciones en caso de fuga o derrame
 - Solvente contaminado y solvente mineral reciclado:
 - Fugas o derrames pequeños: eliminar y evitar toda fuente de ignición, chispa, flama o electricidad. Confinar con diques de arena absorbente no inflamable.
 - Fugas o derrames grandes: formar un dique de contención para evitar que se esparza el derrame. Si existe probabilidad de incendio cubrir con espuma o utilizar chorro de agua nebulizada. Todo el equipo utilizado deberá estar conectado a tierra o aterrizado. Luego, de transferir el

material de limpieza utilizado a otro contenedor, se podrá lavar el área con agua y jabón. Evitar siempre que esta llegue a la alcantarilla. Colocarse en contra del flujo de viento.

- Pasta sólida concentrada (PR): recoger lo derramado y luego limpiar el área con agua y jabón. Evitar que el agua de limpieza llegue a la alcantarilla.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El proceso de reciclaje de solvente mineral contaminado es un proceso fundamental en la industria de pinturas actualmente. Permite ahorrar costos y sobre todo mejorar el desempeño ambiental de las empresas, reduciendo la cantidad de desechos producidos y reutilizando la mayor cantidad de material. Esto es posible lograrlo realizando un plan eficiente de acción de 3 R (reciclar, reutilizar y reducir) sobre estos desechos. Cabe mencionar que sin el proceso de reciclaje correcto es imposible aprovechar estos productos de la forma sugerida en este texto.

5.1. Reciclaje de solvente

Al realizar el balance general del proceso de recuperación de SMR, se observa que se obtiene un buen rendimiento real promedio, siendo del 61,83 %, equivalente al 98,93 % del solvente mineral total presente. Al comparar con el rendimiento teórico que son los datos obtenidos en laboratorio el cual arroja un rendimiento de 62,5 % se determina que el error porcentual en el proceso es de 1,07 %, siendo menor al 5 % permitido, indicando el éxito del procedimiento.

Como la ecuación de balance (1) presentada indica la relación inversa entre el rendimiento en la obtención del SMR y el rendimiento en la obtención de agua y PR, se debe tomar en cuenta el error porcentual presente en la obtención de estos subproductos. Este es de 3,40 % y 2,56 % respectivamente, siendo claramente menores al 5 % permitido, esto respalda los resultados para la obtención del SMR.

Al analizar los datos antes mencionados ubicados en la tabla XXXVI y los resultados de la desviación estándar en la tabla LVII. Se determina que aunque existan variaciones en los lotes, siempre se mantienen dentro del margen de obtención permitido en cuanto a rendimiento se refiere. Esto avala y da por correctas la ecuación (2) ecuación de balance.

Al analizar esta ecuación se observa la relación directa entre la obtención de SMR y los subproductos (agua y PR). La proporción de estos productos es dependiente de las variables de control del proceso, siendo estas: temperatura y presión.

Al realizar el proceso de reciclado de solvente, a nivel planta utilizando las mismas variables de operación del experimento realizado en el laboratorio, se obtuvo el mismo resultado a pesar de la diferencia de escalas. El error porcentual presente fue de 0,03 % por lo que se descartó la variación. Esto fundamenta que las variables de control deben de ser la presión y temperatura. La temperatura debe de estar entre 130 °C y 160 °C a 1 atm de presión.

Mientras la temperatura y presión del proceso sean más parecidas a la temperatura y presión de ebullición teóricas del solvente mineral virgen, mayor será el rendimiento para el SMR y mayor será la pureza o calidad del mismo. Al mejorar el rendimiento para la obtención del SMR disminuyen el rendimiento de obtención de agua y PR. Esto siempre y cuando el proceso no presente fugas y el error humano sea mínimo.

5.2. Solvente mineral para limpieza

Al evaluar los rendimientos presentes en la tabla XXXVI donde se comparan la cantidad necesaria de SMV y SMR para limpiar un tanque se

observa que la diferencia entre estos es mínima. Esto indica que la capacidad de limpieza o de limpieza del SMR es óptima. El error relativo presente es de 2,32 %, el cuál al ser menor al 5 % permite comprobar que los experimentos de validación realizados son correctos. El SMR al ser más refinado posee suficiente poder de limpieza, lo cual puede ser obtenido estandarizando el proceso de reciclaje.

Cabe mencionar que el correcto desempeño como solvente de limpieza está altamente ligado al tipo de pintura alquídica, calidad y aditivos de la pintura a remover, así como se encuentra ligado a la calidad o pureza del SMR.

5.3. Solvente mineral como componente básico

Al analizar los resultados obtenidos para el SMR como componente básico se determina que es posible utilizar este producto de reciclaje como materia prima en la producción de pinturas. Esto permite ahorrar costos de producción, teniendo incidencia directa sobre el precio final de la pintura alquídica, permitiendo a la empresa la optimización de costos. El resultado de este procedimiento genera menores gastos en producción, es decir mayores ganancias.

Los resultados obtenidos indicados en la tabla XXXVIII, demuestran que las propiedades fisicoquímicas de la pintura se mantienen dentro del rango de aprobación de calidad. Esto se realizó comparando de forma directa la producción de una pintura alquídica con SMV y con una pintura alquídica producida con SMR.

Los resultados de las distintas diluciones indicadas en la tabla XXXVIII, presentan el comportamiento esperado al realizar este tipo de procedimiento.

Este comportamiento puede ser catalogado como normal y garantiza que no se sacrifique el correcto desempeño, ni calidad de la pintura al utilizar SMR.

Es muy importante denotar que el análisis es de 3 R, se evaluaron los efectos sobre las propiedades fisicoquímicas según estimaciones cuantitativas y cualitativas. Las cuales, al observar las tablas XXXIX y XL demuestran su correcto funcionamiento. Todas las pruebas realizadas fueron emulando las mismas condiciones para garantizar la veracidad de la información.

Por medio de un análisis multivariado de varianzas (Manova) se pudo comprobar que el análisis que abarca todas las propiedades fisicoquímicas cuantitativas es necesario. Este análisis permitió la determinación de la relación directa entre todas las propiedades cuantitativas evaluadas.

Este análisis registrado en la tabla LIV, al interpretar la correlación de Pearson indica que la densidad, viscosidad, no volátiles presentes y tiempo de secado están directamente relacionados entre sí. Esto se debe a que la correlación de Pearson es significativa, si es mayor a 0,05. El valor obtenido es muy grande, cercano a 1, indicando que cualquiera de las propiedades que se afecte provocará un cambio positivo o negativo en las demás variables antes mencionadas.

Esto, siempre, en la medida que se afecte cualquier valor cuantitativo de estas. Por lo que se recomienda siempre tomar todas estas propiedades como propiedades de evaluación de la calidad de la pintura.

A diferencia del valor porcentual del brillo el cual según la tabla LIV, no está numéricamente ligado a las demás propiedades evaluadas. Esto es

respaldado ya que el valor de la correlación de Pearson es inferior a 0,05, al evaluar el valor del brillo con cualquier otra propiedad.

5.4. Solvente mineral para aplicación

Al evaluar el uso de SMR como solvente para aplicación se determina con base en los resultados presentes en las tablas XLII y XLIII, que este solvente es adecuado para su uso en la aplicación de pinturas.

Al realizar distintos experimentos vareando las diluciones realizadas en comparación directa entre el SMV y el SMR se pudo concluir que los resultados presentados son los esperados al realizar este tipo de procedimiento. Este comportamiento puede ser catalogado como normal, garantizando que no se sacrifique el correcto desempeño, ni calidad de la pintura al utilizar SMR, cuando se le dé el uso de solvente mineral para aplicación.

En este campo de aplicación solo se tomó en cuenta 2 variables cuantitativas, siendo densidad y viscosidad. Mediante un análisis multivariado de varianza (Manova) se determinó la relación entre las 2 propiedades fisicoquímicas antes mencionadas. Según la correlación de Pearson están directamente ligadas, lo que indica que al afectar una se tendrá el mismo efecto proporcional en la otra.

Esto se debe a que la correlación de Pearson indica claramente un valor de 0,334, lo que expresa que estas propiedades son directamente proporcionales. No se puede afectar una sin dañar la otra. Claramente el valor obtenido es mayor a 0,05 indicando que es factible su uso, como componente para aplicación. Estos datos pueden ser corroborados en la tabla LV.

Las figuras 10 y 11, claramente denotan el comportamiento al utilizar este solvente como solvente mineral de aplicación. Esto ejemplifica de una forma sencilla la tendencia de los resultados, la cual es muy parecida para ambos casos (1. SMV y 2. SMR).

La viscosidad según la figura 11, tiende a disminuir en la proporción de la misma. A mayor dilución menor será el valor de la viscosidad. La abatida de la viscosidad cumple con el resultado esperado. A mayor cantidad de solvente menor será la viscosidad.

Para la densidad se puede observar en la tabla 10 que el comportamiento al aumentar la dilución de la pintura con SMV o SMR es el mismo comportamiento observado para la viscosidad. Estos valores respaldan claramente que si se afecta cualquiera de los dos parámetros el otro se verá directamente afectado y en proporción similar. Este análisis expresa que a mayor dilución, menor será el valor cuantitativo de la densidad. Claramente se observa que el resultado es muy similar sin importar el color de la pintura a realizar.

Con estos resultados se puede garantizar el correcto desempeño de la pintura al ser disuelta en las proporciones que indique la hoja técnica del producto.

5.5. Pasta reciclada concentrada

Al analizar los datos obtenidos para la pintura anticorrosiva se determina la viabilidad de producción de PR como materia prima, lo cual tiene incidencia directa en la calidad de la pintura. Al realizar las pruebas de intemperismo de pintura, obtenida a base del subproducto del reciclado de solvente mineral (PR)

y la adición de sales metálicas como secantes, se observa que esta pintura anti corrosiva a pesar de ser de un acabado rústico o de textura altamente rugosa tiene alta capacidad de protección.

Esto se realizó comparando el desempeño de la pintura anticorrosiva propuesta *versus* la pintura anticorrosiva económica que no se produce a base de materias primas de reciclaje. Se realizó de esta forma, ya que el precio de venta final será muy parecido o dentro del rango de precio en el mercado de un anticorrosivo económico.

Este anticorrosivo obtenido cumple perfectamente con la función de sacrificio para alargar la vida del metal a recubrir. La única limitante de esta pintura anticorrosiva es que no puede ser utilizada como acabado final pero si puede ser utilizada como capa primera y ser recubierta con un acabado final, para darle mejor apariencia.

Se recomienda que esta pintura se utilice como capa primaria si no se requiere una apariencia con mayor fineza o menor rugosidad. En ocasiones donde la apariencia es fundamental no se recomienda su uso a menos que sea idóneo para la ocasión. La apariencia a obtener, cuando la pintura está totalmente curada, rústica, con textura rugosa. La coloración a esperar será entre el rango de tonos verdosos y grisáceos.

En cuanto al proceso de producción refiere, se debe tomar en cuenta las variables propuestas en la tabla L. Estas son los estándares de calidad a seguir al evaluar las propiedades fisicoquímicas de la pintura de cada lote. Se recomienda con el fin de ofrecer un producto estable y estándar a la industria.

Los estándares de calidad establecidos están respaldados por las gráficas de control realizadas (figura 6 a 9). Estas gráficas garantizan que se obtengan propiedades fisicoquímicas de aprobación adecuadas, las cuales permitan no solo controlar el proceso, si no también garantizar un nivel de calidad establecido y la trazabilidad y repetitibilidad.

Al observar la gráfica de control, figura 6, se verifica que para la medición de la densidad la gráfica de control se ajusta muy bien, teniendo solo 2 lecturas de las 10 realizadas fueran de rango.

Al observar la gráfica de control, figura 7, se establece que para la medición de la viscosidad es más difícil controlar el rango de producción de la misma, teniendo 4 lecturas de 10, equivalente al 40 % fuera de los rangos propuestos.

Al observar la gráfica de control, figura 8, se obtiene la medición de porcentaje de sólidos o porcentaje de no volátiles presentes, 4 lecturas de 10, equivalentes a un 40 % se encuentran fuera de rango. Esto indica la dificultad en restringir esta propiedad como variable estándar de control de la producción de pintura anticorrosiva.

Al observar la gráfica de control, figura 9, el tiempo de secado en 3 de 10 lecturas está fuera de rango. Esto se debe a la variación en la cantidad de secantes por lo que se debe de tomar el valor recomendado para garantizar un tiempo de secado óptimo.

Siendo las proporciones de sales metálicas siguientes: cobalto 0,53 %, circonio 3,11 % y calcio 2,19 %. Estos porcentajes son sobre porcentaje de sólidos o no volátiles totales. El efecto en el tiempo de secado de la pintura

anticorrosiva propuesta por la correcta dosificación de sales metálicas como agentes o aditivos secantes es directa (ver tabla XLV). Cualquier dosificación ajena a la indicada puede provocar diferencias considerables en el tiempo de secado de la pintura anticorrosiva.

Al observar la tabla XLVIII, se resalta que las observaciones físicas realizadas como pruebas de control, para la pintura anticorrosiva son superadas con éxito. La única observación física de cambio es la aparición de sinéresis, pero al ser catalogada como leve se garantiza que esto no comprometerá la calidad, ni el buen desempeño de la pintura anticorrosiva. Esta falla al ser mínima, no afecta el producto en el momento que el cliente lo aplique. Esto siempre y cuando se siga la recomendación de agitar adecuadamente antes de su uso. Como se requiere con cualquier pintura.

Tomando en cuenta toda la información analizada en los párrafos anteriores para la pintura anticorrosiva se puede recomendar el uso de los valores propuestos, como valores estándares de las propiedades fisicoquímicas en la tabla XLVI. Si los valores evaluados a los lotes de producción se mantienen dentro de los rangos de aprobación establecidos, la probabilidad de que la pintura anticorrosiva presente un desempeño óptimo es muy alta.

CONCLUSIONES

1. Es aceptable la eficiencia en el proceso de reciclaje de solvente mineral de 61,83 %, equivalente al 98,93 % del solvente mineral total presente.
2. Se establece que el proceso de reciclaje de solvente mineral es adecuado al presentar un error porcentual de 1,07 %.
3. La cantidad de SMR obtenida es inversamente proporcional a la cantidad de agua y PR.
4. La calidad de SMR obtenido es dependiente del cumplimiento del rango de trabajo temperatura y presión correctos.
5. Al comparar el rendimiento del uso para limpieza del SMV y SMR se determina que es óptimo al presentar 2,32 % de error.
6. Es factible utilizar el SMR como solvente de limpieza.
7. La calidad del SMR como componente básico tiene incidencia directa en las propiedades fisicoquímicas fundamentales de la pintura.
8. Con base en la correlación de Pearson mucho mayor a 0,05 al afectar cualquiera de las 4 propiedades fisicoquímicas básicas de la pintura utilizando SMR se afecta directamente el resto de ellas, siendo densidad, viscosidad, no volátiles y tiempo de secado.

9. Es factible utilizar el SMR como componente básico en formulación de pinturas.
10. El brillo en una muestra de pintura utilizando SMR es numéricamente independiente a las demás propiedades, ya que presenta una correlación de Pearson menor a 0,05.
11. Según la correlación de Pearson al utilizar el SMR como diluyente la densidad y viscosidad son directamente proporcionales.
12. Es factible utilizar SMR como diluyente sin sacrificar el correcto desempeño de la pintura, siempre y cuando no se supere el 11 % de dilución en volumen.
13. El tiempo de secado en la pintura anticorrosiva en base a PR es directamente proporcional a la correcta dosificación de sales metálicas secantes.
14. Según los resultados obtenidos para la pintura anticorrosiva es viable producirla utilizando la PR como componente principal.
15. Según resultados obtenidos es factible el uso de PR como componente fundamental para producir un anticorrosivo eficiente y de precio accesible.
16. Según los resultados obtenidos es posible aprovechar todos los subproductos obtenidos al reciclar solvente mineral.

RECOMENDACIONES

1. Se debe de llevar a cabo estudios específicos de calidad del SMR si se quisiera comercializar este como materia prima. Esto con el fin de dar una garantía técnica a los posibles usuarios.
2. Para garantizar que el SMR sea de mayor calidad se debe verificar que el proceso no tenga fugas, ni posibles fuentes de contaminación. También es importante que en el proceso de reciclaje se verifique que no se está contaminando más al medio ambiente.
3. Realizar pruebas de intemperismo exhaustivas para determinar los límites máximos de protección del anticorrosivo a base de PR.
4. Realizar pruebas donde se pruebe el desempeño del anticorrosivo a base de PR en situaciones extremas para comercializarlo a un precio más elevado o para situarlo en competencia directa con otros anticorrosivos industriales.
5. Realizar un estudio para utilizar la PR como combustible para la caldera.
6. Realizar un estudio para poder determinar otras formas de uso de la PR.
7. Para determinar exactamente el ahorro económico y asignarle un valor de retorno es importante realizar un análisis económico exhaustivo sobre el proceso de reciclaje del solvente mineral, tomando en cuenta todos los recursos utilizados para realizar este procedimiento.

8. Para manejar de forma adecuada los productos y subproductos obtenidos es indispensable el uso del manual aquí planteado.
9. Para determinar usos futuros de los productos y subproductos se recomienda realizar estudios donde se pueda determinar variables más específicas como la capacidad calorífica, punto de fusión, punto de ignición, energía que aporta, contenido químico, contaminantes presentes, composición molecular.
10. Realizar estudios a profundidad para utilizar la PR como abono para las plantas.
11. Realizar un monitoreo constante en el proceso de reciclaje para garantizar la mejora del desempeño ambiental y así evitar futuros accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM International. *ASTM International Standards*. USA: ASTM, 1996 – 2014. 430 p.
2. CALVO CARBONELL, Jordi. *Pinturas y recubrimientos*. España. Paiz de Santos, 2010. 440 p.
3. A. GIUDICE, Carlos; M. PEREYRA, Andrea. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad*. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2009. 444p.
4. NEIL J, Salkind. *Métodos de investigación*. 3a ed. México: Prentice Hall, 1998. 380 p.
5. SWARD, Gardner. *Paint Testing Manual: Physical and Chemical Examination of Paints, Varnishes, Lacquers, and Colours*. 13va ed. Alemania: ASTM. 1972. 390 p.
6. WALPOLE, Myers; MYERS. Pearson. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia*. 9a ed. Ricardo Cruz. [trad.] 6a ed. México: Prentice-Hall, 1999. 936 p.

APÉNDICES

1. DATOS CALCULADOS

Se presentan a continuación los datos calculados:

Tabla I. **Reciclaje de solvente mineral**

Cálculo	SMR (kg)	H2O (kg)	PR (kg)
Media aritmética	618,3	241,5	140,2
Dato Teórico	625	250	125
Varianza	647,3	1 355,2	834,8
Desviación estándar	25,44	36,81	28,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Valores de error para reciclaje de solvente mineral**

Error	SMR	H2O	PR
Absoluto	6,7	8,50	12,16
Porcentual	1,07 %	3,4 %	2,56 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Solvente mineral para limpieza**

Calculo	Rendimiento SMV (gal/gal)	Rendimiento SMR (gal/gal)
Media aritmética	0,59	0,61
Varianza	0,001	0,001
Desviación estándar	0,024	0,036

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Valores de error del solvente mineral para limpieza**

Error	Valor (%)
Absoluto	0,01
Porcentual	2,32

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Recopilación de valores obtenidos y calculados para obtener la gráfica de control de la “densidad” para la pintura anticorrosiva**

Núm.	Límite Central	Límite Inferior	Valor experimental	Límite Superior
1	8,66	8,54	8,68	8,78
2	8,66	8,54	8,45	8,78
3	8,66	8,54	8,71	8,78
4	8,66	8,54	8,92	8,78
5	8,66	8,54	8,69	8,78
6	8,66	8,54	8,58	8,78
7	8,66	8,54	8,64	8,78
8	8,66	8,54	8,63	8,78
9	8,66	8,54	8,72	8,78
10	8,66	8,54	8,59	8,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Recopilación de valores obtenidos y calculados para obtener la gráfica de control de la “viscosidad” para la pintura anticorrosiva**

Núm.	Límite Central	Límite Inferior	Valor experimental	Límite Superior
1	86,2	76,7	87	95,7
2	86,2	76,7	92	95,7
3	86,2	76,7	98	95,7
4	86,2	76,7	84	95,7
5	86,2	76,7	74	95,7
6	86,2	76,7	82	95,7
7	86,2	76,7	100	95,7
8	86,2	76,7	90	95,7
9	86,2	76,7	85	95,7
10	86,2	76,7	70	95,7

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Recopilación de valores obtenidos y calculados para obtener la gráfica de control de la “no volátiles” para la pintura anticorrosiva**

Núm.	Límite Central	Límite Inferior	Valor experimenta	Límite Superior
1	44,54	41,66	42,50	47,42
2	44,54	41,66	48,95	47,42
3	44,54	41,66	42,22	47,42
4	44,54	41,66	41,29	47,42
5	44,54	41,66	42,87	47,42
6	44,54	41,66	45,15	47,42
7	44,54	41,66	47,30	47,42
8	44,54	41,66	41,21	47,42
9	44,54	41,66	47,80	47,42
10	44,54	41,66	46,12	47,42

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Recopilación de valores obtenidos y calculados para obtener la gráfica de control de la “tiempo de secado” para la pintura anticorrosiva**

Núm.	Límite Central	Límite Inferior	Valor experimental	Límite Superior
1	3,80	1,87	3	5,73
2	3,80	1,87	5	5,73
3	3,80	1,87	1	5,73
4	3,80	1,87	6	5,73
5	3,80	1,87	3	5,73
6	3,80	1,87	2	5,73
7	3,80	1,87	7	5,73
8	3,80	1,87	5	5,73
9	3,80	1,87	2	5,73
10	3,80	1,87	4	5,73

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Media muestral para cada dilución utilizando SMV**

Diluciones (%)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0	8,24	100,82
3	8,21	94,78
5	8,19	80,97
7	8,18	75,78
9	8,14	69,48
11	8,12	63,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Media muestral para cada dilución utilizando SMV**

Diluciones (%)	Densidad lb/gal	Viscosidad (KU)
0	8,04	98,57
3	8,00	94,65
5	7,99	86,90
7	7,96	74,11
9	7,94	69,46
11	7,91	63,18

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Cálculos para graficas de control para cada variable**

Calculo	Densidad (lb/gal)	Viscosidad (KU)	NV (%)	Secado (horas)
Media	8,66	86,20	44,54	3,80
Varianza	0,015	90,40	8,28	3,73
Desviación estándar	± 0,12	9,51	2,88	1,93

Fuente: elaboración propia.

2. Muestra de cálculo

2.1. Rendimiento

$$R = \frac{S_u}{T_t} \quad (3)$$

R = rendimiento (Gal/gal)

T_t = tamaño del tanque (gal)

S_u = solvente utilizado para limpiar el tanque (gal)

Ejemplo:

$$T_t = 250 \text{ gal}$$

$$S_u = 2, \text{ toneles} \frac{55 \text{ galones}}{1 \text{ tonel}} = 137,5 \text{ gal}$$

$$R = \frac{137,5 \text{ gal}}{250 \text{ gal}} = 0,5$$

R// El rendimiento indica que se necesita 0,55 galones de solvente para limpiar 1 galón de pintura, en un tanque de 250 galones.

2.2. Media muestral

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (4)$$

Donde:

\bar{X} = media muestral

X_i = valor de la variables

N = núm. total de variables sumadas

Ejemplo:

$$X_1 = 8,23$$

$$X_2 = 8,25$$

$$X_3 = 8,24$$

$$N = 3$$

$$X_i = \frac{8,23 + 8,25 + 8,24}{3} = \frac{24,72}{3} = 8,24$$

2.3. Varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

(5)

Donde:

σ^2 = varianza

X_i = valor tomado

\bar{X} = media aritmética

N = numero de datos

Ejemplo:

$$X_1 = 8,23$$

$$X_2 = 8,25$$

$$X_3 = 8,24$$

$$\bar{X} = 8,24$$

$$N = 3$$

$$\sigma^2 = \frac{(8,23 - 8,24)^2 + (8,25 - 8,24)^2 + (8,24 - 8,24)^2}{3} = 0,01$$

2.4. Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

(6)

Donde:

S = desviación estandar

X_i = valor tomado

\bar{X} = media aritmética

n = numero de datos

Ejemplo:

$$X_1 = 8,23$$

$$X_2 = 8,25$$

$$X_3 = 8,24$$

$$\bar{X} = 8,4$$

$$N = 3$$

$$S = \sqrt{\frac{(8,23 - 8,24)^2 + (8,25 - 8,24)^2 + (8,24 - 8,24)^2}{3 - 1}} = 0,12$$

2.5. Error absoluto

$$E_{\text{abs}} = |D_t - D_E|$$

(7)

Donde:

E_{abs} = error absoluto
 D_t = dato teórico
 D_E = dato experimental

Ejemplo:

$D_t = 625$
 $D_E = 618,3$

$$E_{\text{abs}} = |625 - 618,3| = 6,70$$

2.6. Error porcentual

$$E_{\text{abs}} = \frac{|D_t - D_E|}{D_t} * 100\%$$

(8)

Donde:

E_{abs} = error absoluto
 D_t = dato teórico
 D_E = dato experimental

Ejemplo:

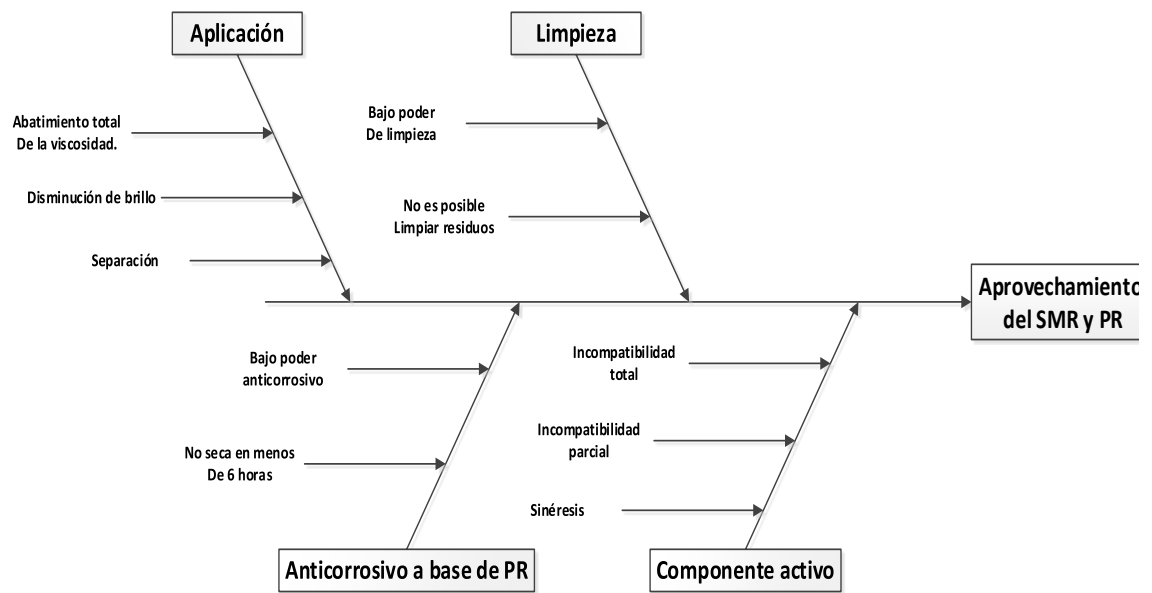
$D_t = 625$
 $D_E = 618,3$

$$E_{\text{abs}} = \frac{|625 - 618,3|}{625} * 100\% = 1,07\%$$

ANEXOS

A1. Diagramas de Ishikawa general

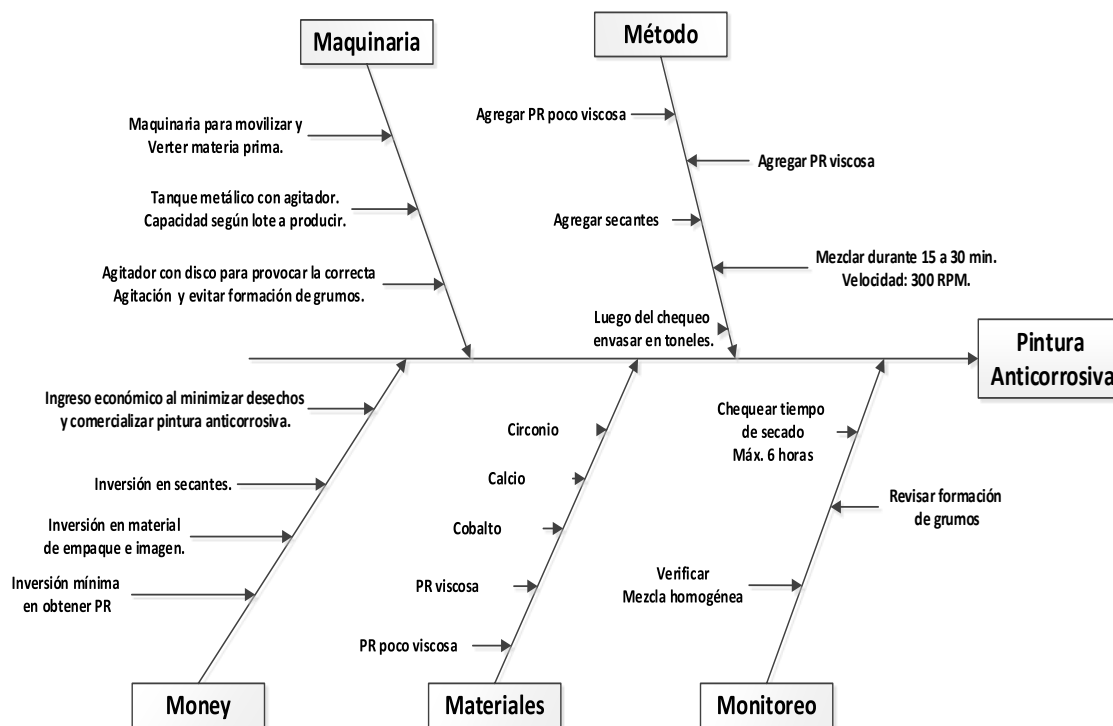
Figura 1. Diagrama de Ishikawa del aprovechamiento del SMR y PR



Fuente: Ingeniería Química.

A2. Diagrama de Ishikawa para proceso de fabricación pintura anticorrosiva

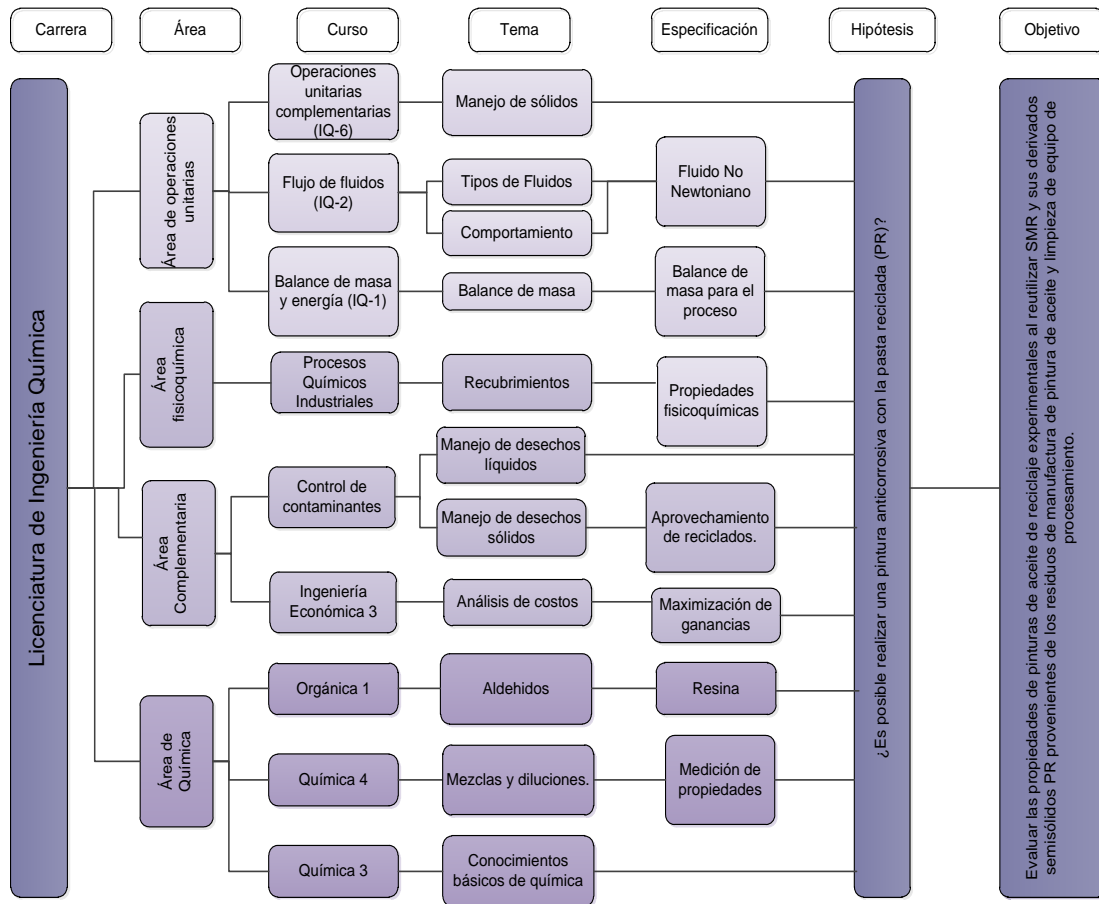
Figura 2. **Manufactura de pintura anticorrosiva**



Fuente: Ingeniería Química.

A3. Diagrama de requisitos académicos

Figura 3. **Manufactura de pintura anticorrosiva**



Fuente: Ingeniería Química.

