



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**DESARROLLO DE UNA TINTA CONCENTRADA PARA LA
INDUSTRIA METALMECÁNICA, BAJO LA METODOLOGÍA SEIS
SIGMA EN DUPONT PERFORMANCE COATINGS.**

Autor: Br. María C. Bordones H.

Tutor Académico: Dr. Juan C. Pereira.

Tutor Empresarial: Lic. Miguel E. Lecuna.

Bárbula, Mayo 2011



Año Internacional de la
QUÍMICA
2011

“La vida no es fácil, para ninguno de nosotros. Pero... ¡qué importa! Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo. Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa y que esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste.”

Marie Curie.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por todas las bendiciones que me brinda siempre incluyendo este nuevo paso en mi vida.

A Mis padres por ser mis guías y principal apoyo en todo momento. LOS AMO.

A Mi hermano por quererme y hacerme reír tanto siempre con sus ocurrencias.

A MI familia: mi tata, tíos y en especial a mis primos Adri, Joha, Daniel, Gabriel y Ari y a mis ahijados bellos Isa y Joksan Los Amo son lo máximo.

A Freddy por su perseverancia, amor y apoyo, por hacerme sonreír cuando más lo necesito y por todas las cosas que hemos vivido juntos TE AMO.

A mis profesores de FACyT por todas sus enseñanzas y apoyo durante mi formación, en especial a Víctor Pérez y Ruth Álvarez, mis padres académicos por estar conmigo siempre que los necesito.

A mis tutores por ayudarme en esta etapa tan importante.

Al personal de Du Pont, por todo el cariño y colaboración, Orly, Hector, Gustavo, Ela, Joselith, Roberto, Chino, los chicos de celda satélite y del laboratorio de calidad.

A los pasantes y tesistas con quienes compartí mucho todo este tiempo, en especial a Ana Silva, te quiero mucho amiga.

Por supuesto a mis Super Químicos y Asociados, por tantas cosas compartidas, es una bendición contar con ustedes. Los amo con locura eterna.

A Kerly Coronado por estar conmigo desde que inicié este camino y por su amistad incondicional te quiero infinito amiga.

A Terina Vega y María Elena Trujillo mis grandes compañeras en esta etapa LO LOGRAMOS CHICAS!!!.

A mis grandes amigas Lisbeth, Mafer, Ada y Greysel por siempre estar a mi lado. Las amo.

A Valentina, Marite, Ramón Sarmiento, Vanessa a quienes tuve el placer de conocer en este camino y hoy día los considero mis amigos, los quiero mucho chicos.

A todos ustedes muchísimas gracias, por su apoyo incondicional y palabras de aliento tuve la fuerza para sacar adelante esta meta. LO LOGRÉ



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA.



DESARROLLO DE UNA TINTA CONCENTRADA PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA, BAJO LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN DUPONT PERFORMANCE COATINGS.

Autor: Br. Bordones María.

RESUMEN

Se elaboró una tinta para una empresa metalmecánica que requería un producto altamente flexible, con buena adherencia al sustrato, buen curado y una viscosidad mayor a 110 segundos como propiedades más importantes debido al proceso en el cual es utilizado. Para esto se realizaron dos diseños de tipo mezcla simple centroide de tres componentes, los cuales eran una resina alquídica, una acrílica y una poliéster; la diferencia entre los diseños era el tipo de poliéster utilizado. En la investigación, se sumó a las propiedades listadas en el plan de inspección, la evaluación del porcentaje de aumento de la viscosidad, debido a que la fórmula actual presentaba un incremento de viscosidad considerable luego de almacenarse durante varios días. Con los pilotos preparados en el diseño de experimentos no se consiguió una fórmula que cumpliera con todas las especificaciones del cliente, debido a esto, se prepararon 6 pilotos más basados en las ecuaciones de los modelos matemáticos propuestos por el software estadístico. El piloto con el que se logró cumplir con las especificaciones fue el que tenía una relación resinas/agente entrecruzante de 80/20 mientras que entre la resina alquídica y la poliéster la relación fue 20/80. Se realizó por último una evaluación de los costos de la nueva fórmula considerando sólo las materias primas y se compararon con los costos de la fórmula actual y se obtuvo que la nueva fórmula es más económica en un 34 %.

Índice General

Contenido	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I. Planteamiento del problema.	
1.1. Formulación del problema.....	3
1.2. Situación actual.....	5
1.3. Situación deseada.....	5
1.4. Justificación.....	6
1.5. Objetivos de la investigación.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. Limitaciones y alcance.....	7
Capítulo II. Marco Teórico.	
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Tintas.....	11
2.2.2. Pigmentos.....	11
2.2.3. Solventes.....	12
2.2.4. Resinas.....	15
2.2.5. Vehículo.....	21
2.2.6. Aditivos.....	21
2.2.7. Proceso de dispersión.....	22
2.2.8. Desempeño de la tinta.....	24
2.2.9. Seis Sigma.....	25
2.2.10. Fases de seis sigma.....	26
2.2.11. Diseño de experimentos.....	27
2.2.12. Experimentos con mezclas.....	28
2.2.13. Minitab.....	29
2.2.14. Conceptos estadísticos.....	29
Capítulo III. Marco Metodológico.	
3.1. Nivel de la investigación.....	38
3.2. Diseño de la investigación.....	39
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39

Contenido	Pág.
3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.....	40
3.5. Procedimiento metodológico para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.....	41
Capítulo IV. Resultados y Discusión.	
4.1. Evaluación de la formula existente y la situación actual de las variables críticas de la calidad exigidas por el cliente.....	50
4.1.1. Formulación actual.....	50
4.1.2. Situación actual de las Variables Críticas de la Calidad.....	53
4.1.3. Voz del Cliente.....	55
4.2. Estudiar, mediante Diseños de experimentos, el comportamiento de distintas fórmulas para la tinta objeto de estudio en esta investigación.....	58
4.2.1. Viscosidad.....	62
4.2.2. Delta de viscosidad y porcentaje del delta de viscosidad.....	67
4.2.3. Impacto directo e indirecto.....	70
4.2.4. Resistencia al xilol.....	74
4.3. Selección en base a los resultados de los diseños de experimentos de la formulación más adecuada para la satisfacción de las variables críticas de la calidad.....	78
4.4. Evaluación de los costos de la nueva formulación considerando solo las materias primas involucradas y comparación con los de la formulación actual.....	85
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.	
Conclusiones.....	86
Referencias bibliográficas	88
Apéndice	92

Índice de Figuras.

Figura	Pág.
Figura 2.1. Ejemplos de reacciones de entrecruzamiento entre resinas alquídicas y amínicas.....	16
Figura 2.2. Reacción de obtención de la melamina.....	17
Figura 2.3. Estructura de la resina melamina butilada.....	18
Figura 2.4. Polimerización del metacrilato de metilo para obtener poli (metacrilato de metilo) ó Poli (metil metacrilato).....	19
Figura 2.5. Esquema de la estructura de un poliéster insaturado.....	20
Figura 2.6. Etapas básicas del proceso de dispersión.....	22
Figura 2.7. Diagrama esquemático de un molino de zirconia empleado para la dispersión de pigmentos.....	24
Figura 2.8. Sistema coordinado trilineal.....	28
Figura 2.9. Gráficas de residuos proporcionadas por Minitab 15.....	34
Figura 3.1. Gráfico del diseño de experimentos de mezcla simple centroide.....	43
Figura 4.1. Composición de la tinta actual.....	51
Figura 4.2. Efecto de naipes del AD 02.....	53
Figura 4.3. Diagrama de Ishikawa para el problema de flexibilidad deficiente.....	59
Figura 4.4. Gráficos de residuos para viscosidad.....	64
Figura 4.5. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para viscosidad en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	66
Figura 4.6. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para porcentaje de delta de viscosidad en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	70
Figura 4.7. Gráficos de residuos para impacto directo.....	72
Figura 4.8. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para impacto directo en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	73
Figura 4.9. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para resistencia al xilol en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	77
Figura A.1. Barra Hegman para determinar la finura.....	90
Figura A.2. Copa Ford # 4.....	92
Figura A.3. Picnómetro.....	94
Figura A.4. Medidor de brillo.....	95
Figura A.5. Equipo para la evaluación de la resistencia al impacto.....	96
Figura A.6 Lápices para la evaluación de dureza.....	97

Figura	Pág.
Figura A.7. Equipo para prueba de adhesión.....	98
Figura B.1. Gráficos de residuos para sólidos por peso.....	100
Figura B.2. Gráficos de residuos para peso por galón.....	101
Figura B.3. Gráficos de residuos para delta de viscosidad.....	102
Figura B.4. Gráficos de residuos para porcentaje del delta de viscosidad.....	103
Figura B.5. Gráficos de residuos para brillo 60°.....	104
Figura B.6. Gráficos de residuos para Dureza lápiz.....	105
Figura B.7. Gráficos de residuos para impacto indirecto.....	106
Figura B.8. Gráficos de residuos para adhesión.....	107
Figura B.9. Gráficos de residuos para Resistencia al Xilol.....	107
Figura B.10. Gráficos de residuos para viscosidad.....	109
Figura B.11. Gráficos de residuos para sólidos por peso.....	110
Figura B.12. Gráficos de residuos para peso por galón.....	111
Figura B.13. Gráficos de residuos para delta de viscosidad.....	112
Figura B.14. Gráficos de residuos para porcentaje de delta de viscosidad.....	113
Figura B.15. Gráficos de residuos para Brillo 60°.....	114
Figura B.16. Gráficos de residuos para Dureza.....	115
Figura B.17. Gráficos de residuos para Impacto directo.....	116
Figura B.18. Gráficos de residuos para Impacto Indirecto.....	117
Figura B.19. Gráficos de residuos para adhesión.....	118
Figura B.20. Gráficos de residuos para resistencia al xilol.....	118
Figura B.21. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para sólidos por peso en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	119
Figura B.22. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para peso por galón en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	120
Figura B.23. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para dureza en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	121
Figura B.24. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para adhesión en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.....	122

Índice de Tablas.

Tabla	Pág.
Tabla 2.1. Clasificación de los solventes en función de las familias químicas.....	13
Tabla 2.2. Clasificación de los solventes de acuerdo a la función que cumplen.....	14
Tabla 2.1. Propiedades de la tinta en forma líquida y sólida.....	25
Tabla 2.4. Directrices para la interpretación del VIF.....	36
Tabla 3.1. Orden de preparación de los pilotos en el primer diseño de experimentos de mezcla.....	44
Tabla 3.2. Orden de preparación de los pilotos en el segundo diseño de experimentos de mezcla.....	45
Tabla 3.3. Pruebas realizadas a cada piloto en los diseños de experimentos de mezcla.....	47
Tabla 4.1. Resultados de las pruebas realizadas a la tinta en su forma líquida.....	54
Tabla 4.2. Resultados de las pruebas realizadas al piloto luego de aplicarlo.....	54
Tabla 4.3. Voz del cliente para el producto en desarrollo.....	55
Tabla 4.4 Resultados los pilotos para la selección de la relación de resinas/agente entrecruzante.....	61
Tabla 4.5. Regresión para mezclas: Viscosidad Vs. RC 01, RC 03,RC 04.....	63
Tabla 4.6. Regresión para mezclas: Viscosidad Vs. RC 01, RC 03,RC 05.....	65
Tabla 4.7. Regresión para mezclas: Porcentaje de delta de viscosidad Vs. RC01,RC03,RC04.....	68
Tabla 4.8. Regresión para mezclas: Impacto directo vs RC 01, RC 03, RC 04.....	71
Tabla 4.9. Regresión para mezclas: Resistencia al xilol Vs. R 01, RC 03, RC 04.....	75
Tabla 4.10. Regresión para mezclas: Resistencia al xilol Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	76
Tabla 4.11. Resultados de la predicción con los modelos de los diseños de experimentos.....	80
Tabla 4.12. Resultados de los pilotos preparados a partir de la predicción con los modelos estadísticos de los diseños de experimentos.....	82

Tabla	Pág.
Tabla 4.13. Resultados del piloto confirmatorio.....	84
Tabla B.1. Resultados de el diseño de experimento de mezcla con la RC 04.....	99
Tabla B.2. Regresión para mezclas: Sólidos por peso Vs. RC01, RC03,RC04.....	100
Tabla B.3. Regresión para mezclas: Peso por galón Vs. RC01,RC03,RC04.....	101
Tabla B.4. Regresión para mezclas: Delta de viscosidad Vs. RC 01, RC 03 y RC 04.....	102
Tabla B.5. Regresión para mezclas: Brillo 60° Vs. RC 01,RC 03, RC 04.....	103
Tabla B.6. Regresión para mezclas: Dureza Vs. RC 01, RC 03, RC 04.....	104
Tabla B.7. Regresión para mezclas: Impacto indirecto Vs. RC 01, RC 03 y RC 04.....	105
Tabla B.8 Regresión para mezclas: Adhesión Vs. RC 01, RC 03, RC 04.....	106
Tabla B.9. Resultados del diseño de experimentos de mezcla con la RC 05.....	108
Tabla B.10. Regresión para mezclas: Sólidos por peso Vs. RC01, RC03,RC05.....	109
Tabla B.11. Regresión para mezclas: Peso por galón Vs. RC01,RC03,RC05.....	110
Tabla B.12. Regresión para mezclas: Delta de viscosidad Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	111
Tabla B.13. Regresión para mezclas: Porcentaje de delta de viscosidad Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	112
Tabla B.14. Regresión para mezclas: Brillo 60° Vs. RC 01,RC 03, RC 05.....	113
Tabla B.15. Regresión para mezclas: Dureza Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	114
Tabla B.16. Regresión para mezclas: Impacto directo Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	115
Tabla B.17. Regresión para mezclas: Impacto indirecto Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	116
Tabla B.18. Regresión para mezclas: Adhesión Vs. RC 01, RC 03, RC 05.....	117

INTRODUCCIÓN.

En la industria de las pinturas la formulación cumple un papel fundamental puesto que persigue como objetivo principal la combinación de materia prima para obtener los mejores resultados posibles. La ejecución programada de un conjunto de pruebas (base del diseño de experimentos) brinda la oportunidad una vez comprendido el comportamiento del sistema de optimizar los resultados, todo esto sin realizar experimentos innecesarios que se traducen en pérdidas de tiempo y de dinero.

La división de pinturas de Mantenimiento Industrial, se enfoca en el diseño, desarrollo, fabricación, distribución y comercialización de pinturas y recubrimientos anticorrosivos, capaces de proteger una gran variedad de sustratos de las agresiones del medio ambiente, preservando así, la integridad mecánica y la apariencia de estructuras, equipos, tuberías, pisos, etc.

La presente investigación tiene como finalidad desarrollar una tinta concentrada que cumpla con las especificaciones de una industria metalmecánica a la que DuPont distribuye. Se estudia lo referente a composición, funcionalidad y propiedades del producto, tanto en su forma líquida como luego de formada la película sobre el sustrato, se describe lo que es una dispersión, cómo se realiza, y se define lo que es una molienda, el proceso para su realización y cómo se ve afectada por la temperatura.

El estudio se basa la metodología Seis Sigma, una metodología altamente sistemática y cuantitativa orientada a la mejora de la calidad del producto o del proceso.

El presente Trabajo Especial de Grado se encuentra dividido en cinco capítulos:

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, en este capítulo se presenta el problema que motivó este trabajo de investigación, así como los objetivos, tanto generales como específicos que permitirán resolver de manera coherente la problemática planteada. Adicionalmente, se dan a conocer los principales parámetros que definen y justifican la investigación realizada.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO, se mencionan algunas investigaciones realizadas anteriormente, y además se presentan algunas definiciones básicas sobre pinturas, el proceso de dispersión, y herramientas estadísticas empleadas en el análisis de los diseños de experimentos.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO, se presenta el nivel y diseño de la investigación y los procedimientos seguidos para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados y se describe de manera detallada cada uno de los pasos seguidos para la realización de los diseños de experimentos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN, se presentan los resultados obtenidos en cada objetivo con su correspondiente análisis, en el caso que fue necesario, se muestran los análisis estadísticos realizados y la descripción del comportamiento de cada una de las variables estudiadas.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES, se listan en éste capítulo las conclusiones más relevantes de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Fase Seis Sigma: DEFINIR.

En este capítulo se presenta el problema que motivó este trabajo de investigación, así como los objetivos, tanto generales como específicos que permitirán resolver de manera coherente la problemática planteada. Adicionalmente, se dan a conocer los principales parámetros que definen y justifican la siguiente investigación.

1.1. Formulación del problema.

Los productos fabricados por la empresa en estudio son el resultado de una rigurosa investigación científica y especializada, donde la empresa ha tenido que utilizar los más avanzados equipos a nivel tecnológico. La División de Soluciones para Recubrimientos Industriales (DICS por sus siglas en inglés), se dedica al desarrollo y producción de pinturas, dirigido a la protección de materiales y equipos relacionados con las Industrias Generales como, por ejemplo, perfiles de aluminios, tambores, entre otros, así como también, desarrolla productos que satisfacen el área de mantenimiento industrial en el sector de auto partes, como motores, amortiguadores, rines, chasis, ballestas entre otros.

Entre la amplia gama de clientes a los que Du Pont distribuye se encuentra una empresa metalmecánica dedicada a la elaboración de tambores de acero. El proceso mediante el cual ésta empresa fabrica los

tambores es el siguiente: Primero se pintan las láminas de acero mediante rodillos, por lo que se requiere una alta viscosidad del producto. Las láminas pintadas son introducidas en un horno a una temperatura de 190°C, donde son horneadas durante 15 minutos. Luego de esto, aun calientes se apilan las láminas de modo que la cara pintada queda hacia abajo. Una máquina va tomando cada una de las láminas y las dobla para darles la forma cilíndrica. Finalmente, se le introduce al cilindro una máquina que se expande originando unas pequeñas deformaciones en el centro del tambor. Estos cilindros son llevados luego a otras máquinas que forman los bordes y le colocan las tapas culminando así la elaboración de los tambores.

Debido a que se pintan las láminas y luego es que se les da la forma, se requiere que la tinta tenga la adhesión apropiada y sea lo suficientemente flexible para que al momento de realizar las deformaciones, la película de recubrimiento no se desprenda, se agriete ni se quiebre. Debido al poco tiempo de horneado, se requiere un sistema con resinas cuya reactividad sea elevada de modo que la película del recubrimiento cure rápido y no se deteriore al entrar en contacto con las otras láminas.

DuPont, una empresa cuya visión es ser el socio comercial con mejor valor, no puede permitir el deterioro en las relaciones comerciales con el cliente, por ende en este momento se pretende mejorar el rendimiento de la tinta que se está produciendo y disminuir el costo de la elaboración de la misma, para lo que se plantea un nuevo proceso de la elaboración de la tinta en el cual no se cargan dispersiones sino que se realiza directamente una base de molienda con las materias primas de la tinta, se muele y luego se completa la carga de materias primas. Se manipularán las composiciones y

materias primas involucradas para la obtención de un producto que satisfaga las exigencias del cliente, con lo que se espera una disminución de costo en el proceso debido a que no será necesario la adquisición o almacenamiento de dispersiones.

1.2. Situación actual.

La fórmula que se tiene en la actualidad incluye una resina alquídica una resina amínica, solventes, aditivos y dispersiones de pigmentos en un sistema acrílico, el producto se elabora mediante el mezclado de cada una de las materias primas antes mencionadas. Dicha formulación no satisface todas las necesidades del cliente puesto que la viscosidad es menor a la requerida y la flexibilidad necesaria para que la pintura no se quiebre al momento de realizar la deformación (embutición) de las láminas no es la apropiada.

1.3. Situación deseada.

Se desea elaborar una tinta mediante un proceso de dispersión, que sea estable y que posea una alta viscosidad, utilizando resinas que sean lo suficientemente reactivas para que la película cure en el corto periodo de horneado, pero que a la vez le aporten la flexibilidad requerida para el proceso mediante el cual se elaboran los tambores.

1.4. Justificación.

Desde el punto de vista personal y académico, la presente investigación permitirá cumplir con el último requisito exigido para la obtención del título de Licenciada en Química, así como también se obtendrán conocimientos habilidades y destrezas en los procesos de elaboración de productos en la División de Soluciones para Cubrimientos Industriales.

Por otro lado, la realización de este proyecto permitirá el cumplimiento de uno de los objetivos estratégicos de crecimiento y mejora continua como lo es cumplir siempre con las especificaciones de los clientes. Para la empresa resulta de mucha importancia mantener su nivel de competitividad en el mercado. Por ello deben actualizar constantemente sus procesos de manufactura y productos, mejorándolos sustituyéndolos o modificándolos, obteniendo de esta manera nuevos elementos más atractivos y de excelente calidad

1.5. Objetivos de la investigación.

1.5.1. Objetivo general.

- Desarrollar una tinta concentrada que cumpla con las especificaciones de una industria metalmecánica a la que distribuye Dupont Performance Coatings de Venezuela, siguiendo la metodología seis sigma.

1.5.2. Objetivos específicos.

1. Evaluar la formulación existente y la situación actual de las variables críticas de la calidad exigidas por el cliente.
2. Estudiar, mediante Diseño de experimentos, el comportamiento de distintas fórmulas para la tinta objeto de estudio en esta investigación.
3. Seleccionar en base a los resultados de los diseños de experimentos la formulación más adecuada para la satisfacción de las variables críticas de la calidad.
4. Realizar una evaluación de los costos de la nueva formulación considerando solo las materias primas involucradas y compararlos con los de la formulación actual.

1.6. Limitaciones y alcance.

Durante la realización de ésta investigación no se presentaron situaciones o impedimentos para su finalización. Sin embargo es importante mencionar que en el presente trabajo no se proporciona la información exacta sobre las materias primas utilizadas y su dosificación en la fórmula del producto pues por políticas de la empresa dicha información es de carácter confidencial. De igual modo para la evaluación de los costos de las fórmulas se emplearon escalas y no los valores reales pues también son de carácter confidencial.

Las pruebas se realizaron sólo a escala piloto en el laboratorio, la cantidad preparada se encontraba entre 300 y 800 gramos lo que equivale aproximadamente a un octavo y un cuarto de galón respectivamente.

La última fase de los proyectos seis sigma es la de controlar, sin embargo este trabajo concluye en la fase de mejora con la propuesta de la nueva fórmula y queda de parte de la empresa el implantar y vigilar los parámetros para el control del proyecto y su desempeño

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En éste capítulo se mencionan algunas investigaciones realizadas anteriormente. Adicionalmente, se presentan algunas definiciones básicas sobre pinturas, el proceso de dispersión, y por último una breve explicación sobre el proceso de resolución de problemas y algunas herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad.

2.1 Antecedentes de la investigación.

“Evaluación de la incorporación de tintas y en un vehículo universal balanceado, para la manufactura de productos epóxicos” Campos, E. (2010). El presente trabajo de grado, tuvo como propósito fundamental el estudio de la mejora del proceso productivo de la línea de esmaltes epóxicos para el área de mantenimiento industrial al aumentar la disponibilidad o gama del color, por medio de de un sistema tintométrico, fácil de implementar y actualizado. La relación con la presente investigación es en primer lugar que el producto estaba destinado a la misma rama de clientes y en segundo lugar que se trataban de dispersiones de pigmento, por lo que el material teórico fue de mucha ayuda [1].

“Mejora del Proceso Productivo del Producto “Fondo Gris”; Siguiendo La Metodología Seis Sigma. Caso: Dupont Performance Coatings De Venezuela, C.A.” Ochoa, C. Y Dicristanziano, J. (2008). El objetivo principal de esta investigación fue mejorar el proceso productivo del producto “Fondo Gris” de la empresa Dupont Performance Coatings de Venezuela C.A a fin de

disminuir el uso de aditivos sin cargo debido a los ajustes realizados al producto por problemas como la mala apariencia (concha de naranja), siguiendo la metodología Seis Sigma. Entre los resultados más relevantes se diseñó un procedimiento para asegurar que el producto enviado al cliente sólo dependa de las variables de operación y del desempeño del pintor, es decir, que el producto se encuentre bajo las especificaciones de formulación. Dicha investigación se consultó pues al igual que el presente trabajo especial de grado empleó la metodología seis sigma [2].

“Diseño de dos fórmulas para tintas universales bajo parámetro de aceptación de una empresa de pinturas”. Guédez, A. (2008). Esta investigación muestra la formulación de dos tintas universales a través de un diseño de experimento, trabajado bajo recomendaciones de los proveedores sobre las materias primas a emplear y con estudios de disponibilidad bajo parámetro de aceptación de una empresa de pinturas. Este trabajo presenta aspectos importantes en cuanto a la formulación de tintas tales como composición y dosificación mínima necesaria para el desarrollo y comportamiento satisfactorio de tintas universales; aportando al presente trabajo de investigación información sobre los ingredientes que conforman la tinta y sobre el análisis y diseño de experimentos [3].

“Optimización del proceso empleado en la dispersión de pigmentos para la elaboración de pinturas de reacabado automotriz” Morales, Y y Lares, M. (2003). Este trabajo tenía como objetivo principal determinar las condiciones del proceso que permitan mejorar la dispersión de pigmentos empleados en la preparación de tintas utilizadas para la elaboración de pinturas de reacabado automotriz, fue consultado pues sirve de base para la realización de los diseños de experimentos de la presente investigación

debido a que se desea proponer una tinta que sea preparada mediante un proceso de dispersión al igual que lo hicieron en esta investigación.[4].

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Tintas.

Dispersiones, colorantes o concentrados de pigmentos, insolubles, en forma de polvo y dispersas en agua o solventes orgánicos. Se usa para tinte la pintura o hacer pintura, siendo esta el producto de la dispersión o molienda.

Los concentrados de pigmentos se refieren a la dispersión de pigmento empleadas para colorear las pinturas, tales como las pastas colorantes o sistemas de mezcla. Los sistemas de mezcla se basan en los concentrados de pigmentos adecuados para la producción de pinturas acabadas mediante la mezcla de barnices, a fin de obtener una gama completa de colores. Estos concentrados de pigmentos para sistemas de mezcla también pueden utilizarse como pastas colorantes.[4]

2.2.2. Pigmentos.

Las primeras propiedades que vienen a la mente cuando se piensa en pigmentos son el color y la opacidad. Los pigmentos también mejoran la resistencia a la corrosión del recubrimiento, la dureza, la apariencia de la superficie, y refuerzan estructuralmente la película. Los pigmentos deben ser capaces de dispersarse en el recubrimiento, pero no ser solubles con el vehículo o los solventes usados. [5]

La polaridad del pigmento gobierna la afinidad por alquídicos, poliésteres, polímeros acrílicos, etc. que tiene el pigmento en el solvente, así como en soluciones acuosas y dispersiones de películas ya formadas. Este hecho define como se disgregan los pigmentos rápidamente afectando así a la dispersión, y por último, la estabilidad de la pintura líquida. Existe gran diferencia entre la polaridad de muchos pigmentos orgánicos debido principalmente a la naturaleza y estructura química de ellos. Generalmente, los pigmentos inorgánicos son mucho más polares e hidrofílicos que los pigmentos orgánicos debido a que las moléculas son iónicas, hecho que tendrá mucha influencia en la futura formulación de la pintura.[5]

2.2.3. Solventes.

Los solventes son utilizados en los cubrimientos para su dilución facilitando de éste modo la aplicación, flujo y la uniformidad final del cubrimiento sobre el sustrato. Aunque esto suena relativamente simple, la selección de solventes y mezclas de solventes es realmente compleja. Es inusual que un solo solvente proporcione exitosamente todas las propiedades deseadas para un cubrimiento, por lo que existen mezclas de solventes que se usan con frecuencia para satisfacer todos los requerimientos. El solvente, o la mezcla de solventes, debe ser compatible con el vehículo y debe tener propiedades químicas que no tenga efectos adversos en el cubrimiento o el sustrato. Debido a esto, la toxicidad, seguridad, olor, rata de evaporación, solvencia, viscosidad, punto de inflamación, temperatura de ebullición y por supuesto el costo deben ser considerados durante la selección.[5].

Existen varias clasificaciones de los solventes; la clasificación de acuerdo a las familias químicas se muestra en la Tabla 2.1 y la agrupación de acuerdo a la función que cumplen en la tinta se muestra en la Tabla 2.2

Tabla 2.1. Clasificación de los solventes en función de las familias químicas.[1]

Clasificación	Descripción
Hidrocarburos	Compuestos orgánicos derivados del petróleo formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno; se caracterizan por ser incoloros, volátiles y a su vez se subdividen en dos grupos, alifáticos y aromáticos. Entre los hidrocarburos más comunes en la industria de pinturas se encuentran: hexano, éter de petróleo, tolueno, xileno, entre otros
Alcoholes	Compuestos orgánicos que contienen en su estructura un grupo hidroxilo (-OH), unido a un carbono que solo se acopla a otro carbono o a hidrógenos. Entre los más comunes están el alcohol metílico, n-butílico, isopropílico, butanol e isobutanol.
Glicoles-polióles	Solventes industriales de baja volatilidad que tienen varias funciones hidroxilo; casi todos son derivados del etilenglicol. poseen las mismas propiedades de los alcoholes
Éteres- óxidos	Compuestos que resultan de la unión de dos alcoholes con la eliminación de una molécula de agua; se caracterizan por ser ionizantes, coordinantes y aceptor de protones. Entre estos solventes se encuentran el éter etílico, éter isopropílico, entre otros.
Cetonas	Compuestos que contienen grupos carbonilo (C=O) en su estructura, se caracterizan por poseer una rata de evaporación alta, por ser ionizantes, disociantes, coordinantes y receptoras de protones; además figuran como los compuestos más utilizados industrialmente. Entre las más comunes en la industria de pinturas se encuentran la acetona y la ciclohexanona.

Tabla 2.2. Clasificación de los solventes de acuerdo a la función que cumplen [1].

Clasificación	Descripción
Activos	Son aquellos solventes que, cuando son usados solos, pueden disolver un vehículo de pintura. Los solventes activos son usualmente los más costosos por tener un fuerte poder de solvatación. En este grupo predominan los ésteres, los glicoles y las cetonas.
Latentes	Son aquellos solventes que no pueden disolver un vehículo por sí mismos, pero lo pueden hacer si son mezclados con un solvente activo, ya que incrementa la afinidad de la pintura al diluyente.
Diluyentes	Estos solventes pueden ser tolerados por el vehículo después de que han sido disueltos por un solvente activo o un solvente latente. Son, generalmente, adicionados para reducir el costo de la mezcla de solventes y para incrementar la capacidad de otros solventes en el vehículo; son usados para controlar la viscosidad, el secado y los costos. En este grupo se destacan los aromáticos.

2.2.4. Resinas.

Se denomina resina a un alto polímero resultante de la reacción química de dos o más sustancias, generalmente en presencia de un iniciador, catalizador o calor. La resina es el componente formador e película por lo tanto es el vehículo en las dispersiones; ésta retiene el pigmento en forma líquida y es la responsable de la mayoría de las propiedades de la capa de pintura; entre las cuales se pueden mencionar: adhesión, brillo, dureza, flexibilidad, resistencia al impacto, tiempo de secado, extensibilidad de la película, entre otras.[4].

Resinas alquídicas.

Una resina alquídica es básicamente un poliéster cuya cadena principal está modificada con moléculas de ácido graso que le confieren propiedades particulares. Dentro del criterio de clasificación propuesto, se define a las moléculas de ácido graso como “modificantes primarios” de la estructura principal (poliéster).

“Alquid puro” se define como el polímero formado únicamente por la combinación del anhídrido ftálico como diácido, glicerina o pentaeritritol como polioles y ácidos grasos saturados o insaturados como modificantes primarios.

“Alquid modificado” se denomina a la resina alquídica en cuya composición intervienen compuestos diferentes a los que participan en alquídicas puras, como por ejemplo polioles y poliácidos especiales, monoácidos, compuestos fenólicos, epoxídicos, acrílicos, silicónicos, etc.[6].

Las tintas alquídicas de secado al horno, son transformadas en recubrimientos a través de la reacción de la resina alquídicas con resinas melamínicas o de úrea, se utilizan resinas alquídicas cortas obtenidas a partir de aceites y ácidos grasos no secantes, es decir, monoinsaturados o saturados. Los poliésteres saturados resultan en recubrimientos de alta calidad cuando se entrecruzan con resina melamínicas, principalmente las de tipo monomérico.[7]. La Figura 2.1 muestra ejemplos de estas reacciones de entrecruzamiento.

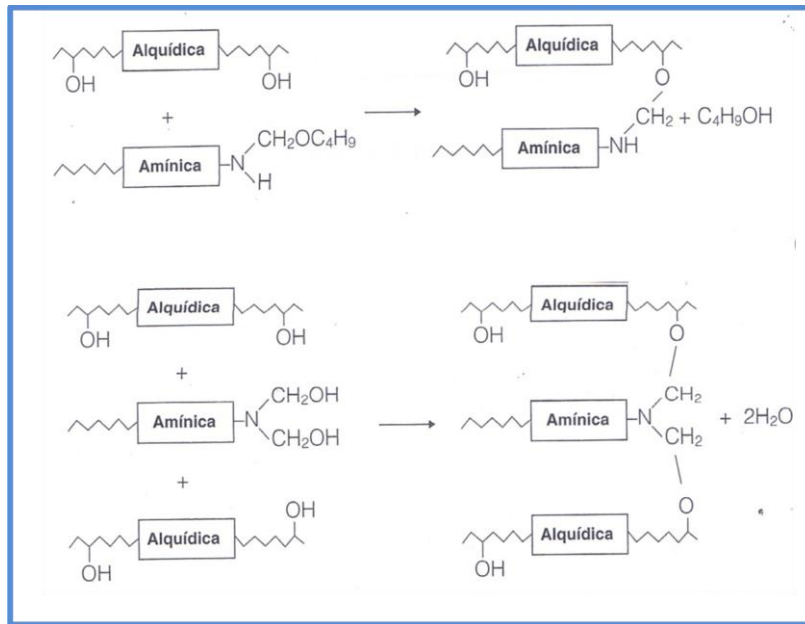


Figura 2.1. Ejemplos de reacciones de entrecruzamiento entre resinas alquídicas y amínicas. [7].

Resinas amínicas.

En este grupo, las principales son las resinas úrea-formaldehído, melamina-formaldehído y la acrilamida o metacrilamida. La reacción involucrada generalmente procede en presencia de calor o de un catalizador ácido. La principal característica que le brindan las resinas amínicas a los cubrimientos es dureza.

La melamina es un sólido cristalino blanco ligeramente soluble en agua, que se obtiene como se muestra en la Figura 2.2. Si la melamina el formaldehído y butanol se hacen reaccionar en condiciones ácidas, se puede obtener una resina butilada como la que se muestra en la Figura 2.3.

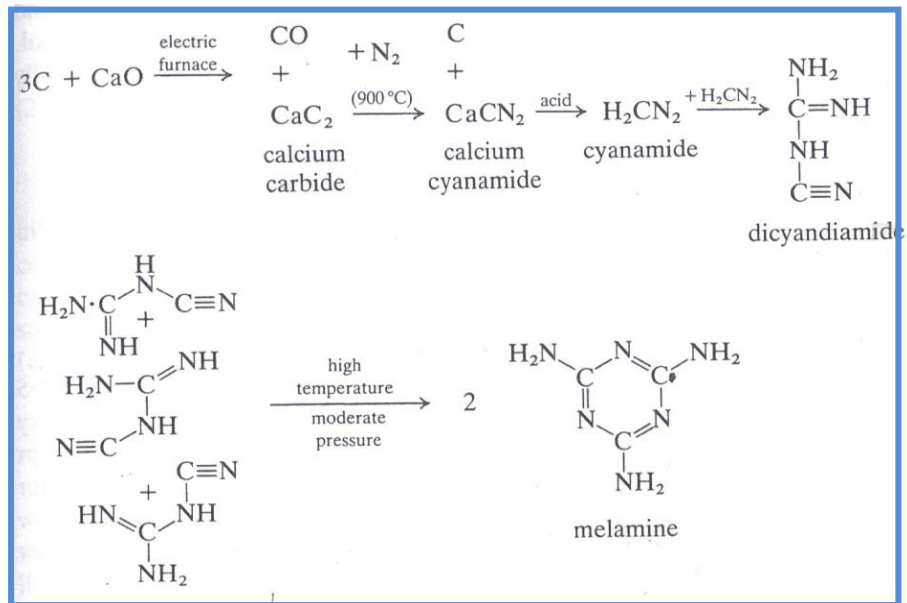


Figura 2.2. Reacción de obtención de la melamina. Fuente:[8].

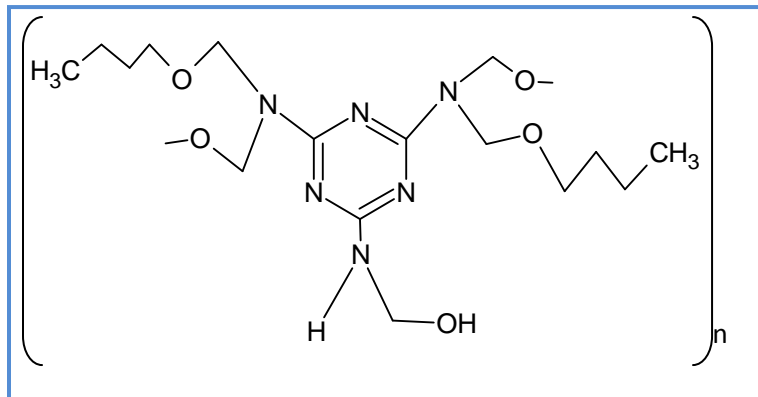


Figura 2.3. Estructura de la resina melamínica butilada. Fuente:[5].

Resinas acrílicas termoendurecibles.

Son resinas termoestables, se obtienen a partir de la polimerización o copolimerización de ésteres acrílicos y metacrílicos. Pueden ser combinados con resina melamina, epóxica, alquídica, etc. para dar sistemas que curan hacia una nueva película con excelente resistencia al agua, ácidos, álcalis, químicos y otros agentes corrosivos. Existen también las de acrilamida y las hidroxiladas. Las primeras son copolímeros de ésteres acrílicos y de acrilamida, mientras que las segundas son copolímeros de ésteres acrílicos.[9]

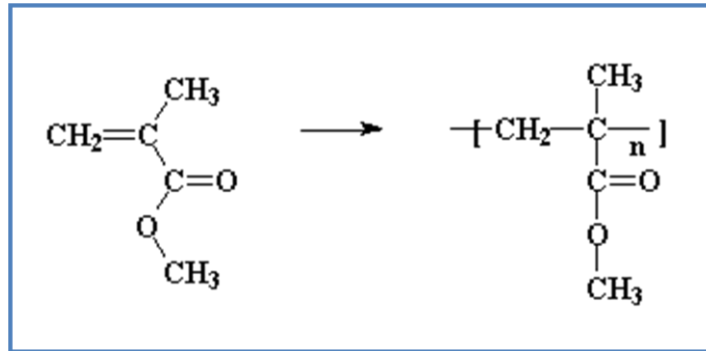


Figura 2.4. Polimerización del metacrilato de metilo para obtener poli(metacrilato de metilo) ó poli(metil metacrilato). Fuente [9].

Las resinas acrílicas de acrilamida se utilizan en esmaltes de secado al horno mezcladas con resinas amínicas y ofrecen una excelente resistencia química, especialmente a los productos químicos domésticos y productos de limpieza. Las características mecánicas dependen tanto de la misma resina como del tipo de resina amínica y de las proporciones de mezcla utilizadas.

Las resinas acrílicas hidroxiladas se utilizan mezcladas con resinas amínicas o eventualmente solas. Los niveles de hidroxilación pueden variar desde un contenido en OH de 0.5% hasta el 4%.

Las de bajo contenido en hidroxilo poseen una excelente adherencia sobre aluminio, estaño y aleaciones de metales ligeros, así como una excelente resistencia a la deformación. Los de alto contenido en OH muestran una resistencia química superior, sin embargo cuanto mayor es el

contenido en hidroxilo menor es la adherencia sobre los metales antes mencionados. [10]

Resinas poliéster.

El termino poliéster abarca los poliésteres saturados, poliésteres insaturados, y alquídicos. Consecuentemente, el termino poliéster es generalmente usado para las resinas de poliéster con función hidroxilo o ácidos libres de aceite. Las resinas de poliéster están compuestas principalmente de co-reactivos como alcoholes di o poli hidroxilados y di o triácidos carboxílicos o anhídridos, y son diluidos con solventes. Las resinas de poliéster insaturadas son derivados de polioles y ácidos dibásicos. La mayoría de los poliésteres son lineales y contienen anhídrido maleico co-condensado como fuente de insaturación.[11] Un poliéster insaturado típico es mostrado en el siguiente esquema:

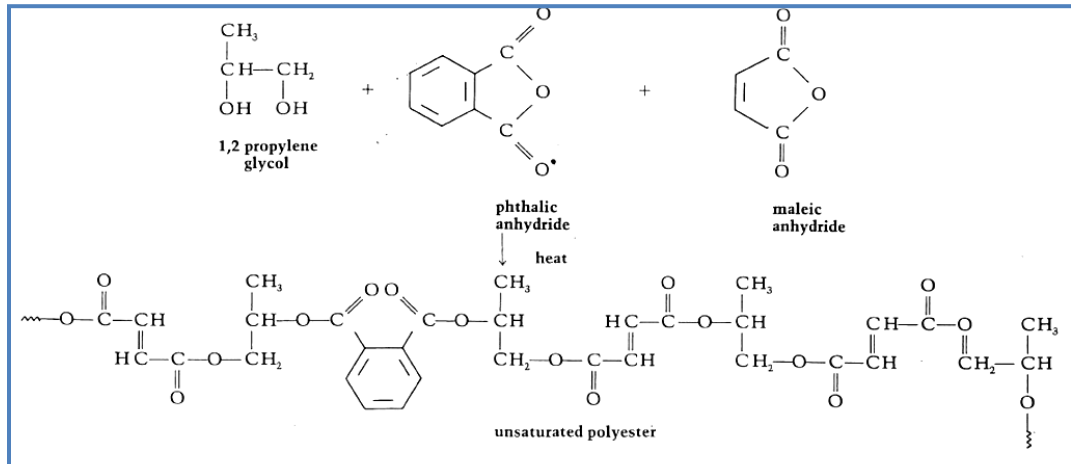


Figura 2.5. Esquema de la estructura de un poliéster insaturado.

Fuente:[5]

2.2.5. Vehículo.

Sistema o combinación de materiales constituido por una matriz polimérica, con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y dada sus particulares características, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. La matriz polimérica de estos materiales está constituida por un polímero y la asociación con solventes y aditivos, obteniéndose como resultado un nuevo material con cualidades diferentes, que no son alcanzables por cada uno de los materiales predecesores de manera aislada.

El vehículo está conformado por una porción no volátil, que se encarga de envolver los pigmentos y cargas, dándoles coherencia y adherencia a la superficie del sustrato. Esta porción resulta de la mezcla de polímeros termoestables constituidos, principalmente por sus grupos matrices, tales como resinas poliéster, viniléster, epoxi, y fenólicas, etc.; solventes orgánicos, agentes reológicos y otros aditivos que forman la fase líquida en donde se dispersan las tintas. [1]

2.2.6. Aditivos.

Materiales que se incorporan a las pinturas en pequeñas proporciones para realzar las propiedades finales de estas o asistir en su manufactura o aplicación. Se emplean en pequeñas concentraciones (usualmente menos del 2%) y son esenciales para el sistema de recubrimiento. Por regla general, cada aditivo confiere un solo beneficio al recubrimiento, tal como el mejoramiento de la calidad, rapidez en la producción, mejoramiento de la

reología del material, mejoramiento en el tiempo de secado, o generalmente, proveer o prevenir la capacidad de recubrimiento.[1]

2.2.7. Proceso de dispersión.

La dispersión puede definirse como la generación de una suspensión de sólidos estables con unas características reológicas definidas. El proceso de dispersión puede dividirse en tres etapas básicas: Humectación, molienda y estabilización.(Figura 2.6).

En la primera etapa, el aire es desalojado de la superficie de las partículas y reemplazado por el medio (ligante, dispersante, vehículo según sea el caso) permitiendo que las partículas se mojen y sumerjan en este **(Humectación del sólido)**. Los sólidos ya mojados, son rotos en pequeñas partículas con ayuda de la acción mecánica impartida por los equipos **(Molienda)** facilitando la dispersión en el vehículo líquido, siendo entonces protegida esta dispersión por el estabilizador adecuado previamente añadido, que evita que las partículas se floquen nuevamente **(Estabilización)**. [12]

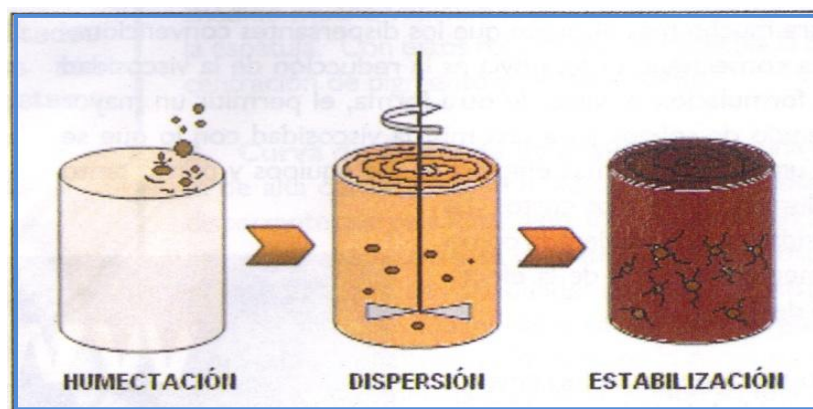


Figura 2.6. Etapas básicas del proceso de dispersión. Fuente [12].

Un buen dispersante debe contribuir con la optimización de la molienda, lo que conduce a un tiempo de dispersión corto y un óptimo grado de molturación, debe permitir un alto contenido de pigmento y cargas para una viscosidad determinada, debe ser compatible con los demás componentes de tal forma que no se generen reacciones paralelas y por lo tanto presencia de precipitados, flóculos o coágulos. Adicionalmente las dispersiones que se generen deben ser estables en el tiempo. [12].

La agitación de las partículas de zirconia es producida por medio de impulsores de discos llanos, los cuales giran a altas ratas de velocidad dentro del molino (ver Figura 2.7). Las partículas de zirconia y base de molienda adyacentes al impulsor atrapan el movimiento del mismo, a través de la resistencia viscosa que poseen y como resultado son arrojadas contra las paredes internas del molino. Un diseño de flujo aproximado para el flujo turbulento total que sigue el molino puede ser a grosso modo descrito como un movimiento de rosquilla doble rodante el cual provee un excelente efecto de dispersión, especialmente en las regiones adyacentes a la superficie del impeler, entre los bordes externos del impeler y las paredes internas del molino.[4]

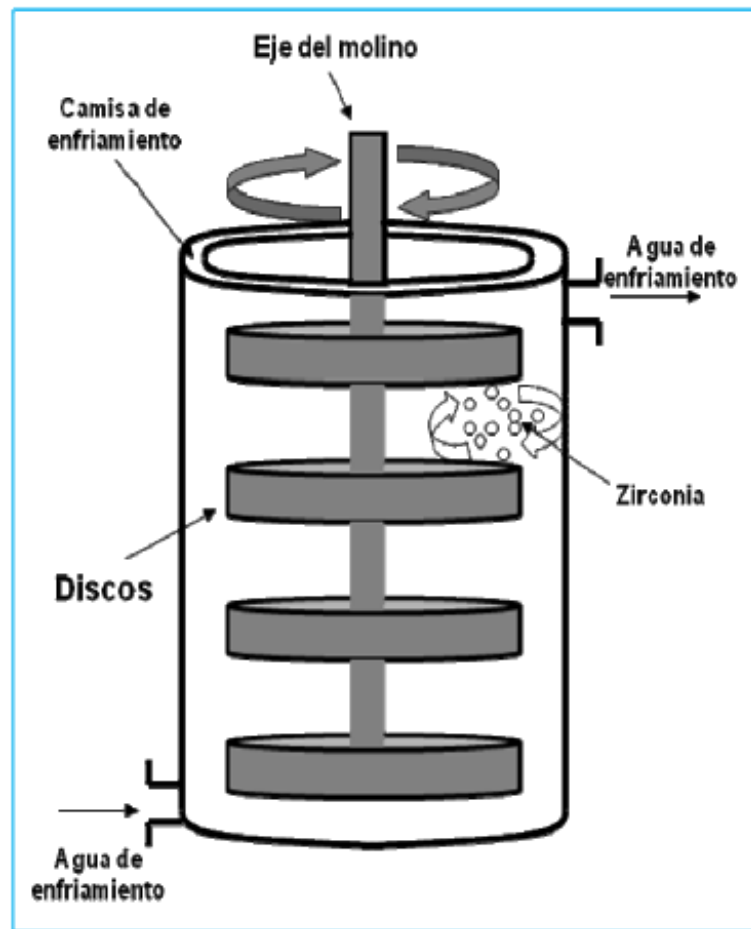


Figura 2.7. Diagrama esquemático de un molino de zirconia empleado para la dispersión de pigmentos. Fuente:[4].

2.2.8. Desempeño de la tinta.

El desempeño de la pintura, se refiere a las propiedades que debe cumplir la misma para garantizar su calidad, y para ello se realizan pruebas cuando se encuentran en estado líquido y en su estado final que es una película sólida. A continuación se muestran en la Tabla 2.3 los más importantes.

Tabla 2.3. Propiedades de la tinta en forma líquida y sólida. Fuente: Propia.

Estado de la tinta	Propiedades	
Líquido	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad • Porcentaje de sólidos • Finura • Peso por galón • Estabilidad 	
Sólido	Químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia Química. • Resistencia a microorganismos. • Resistencia a la corrosión.
	Mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Dureza • Adhesión • Resistencia al impacto. • Flexibilidad. • Resistencia a la embutición.
	Apariencia	<ul style="list-style-type: none"> • Color. • Cubrimiento. • Brillo. • Nivelado.

2.2.9. Seis sigma.

Seis Sigma (SS) es una estrategia de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, enfocándose hacia aquellos aspectos que son críticos para el cliente. La estrategia seis sigma se apoya en una metodología altamente sistemática y cuantitativa orientada a la mejora de la calidad del producto o el proceso: tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos. La meta de SS, que le da el nombre; es lograr procesos con una

calidad seis sigma, es decir, procesos que como máximo generen 3.4 defectos por millón de oportunidades.[13]

En otras palabras, SS es un contexto dentro del cual se podrán integrar muchas de las más valiosas, aunque frecuentemente inconexas, “mejores prácticas” y conceptos de gestión, incluyendo el pensamiento sistemático, la mejora continua, la gestión del conocimiento, la personalización y la gestión basada en actividades. [13]

La organización de SS se puede definir como “una organización que trabaja activamente para incorporar los principios y prácticas de SS a sus actividades diarias de gestión, y que muestra mejoras significativas en el rendimiento de sus procesos y en la satisfacción de sus clientes. [13]

2.2.10. Fases de seis sigma.

En seis sigma los proyectos se desarrollan en forma rigurosa con la metodología de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (en inglés DMAIC: *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), que a continuación se describen brevemente:

(D) Definir el proyecto: En esta fase se debe tener una visión y definición clara del problema que se pretende resolver más adelante mediante un proyecto seis sigma. Por ello será fundamental identificar las variables críticas para la calidad (VCC), esbozar las metas, definir el alcance del proyecto, precisar el impacto que sobre el cliente tiene el problema y los beneficios potenciales que se esperan del proyecto.

(M) Medir la situación actual: En esta segunda etapa se miden las VCC del producto o del servicio (variables de salida, las Y's). En particular se verifica que pueden medirse en forma consistente, se mide la situación actual (baseline) en cuanto al desempeño o rendimiento del proceso; y se establecen metas para las VCC.

(A) Analizar las causas raíz: La meta de esta fase es identificar la(s) causa(s) raíz del problema o situación (identificar las X's vitales), entender cómo es que estas generan el problema y confirmar las causas con datos.

(M) Mejorar las VCC: En esta cuarta etapa se tiene que evaluar e implementar soluciones que atiendan las causas raíz, asegurándose que se reducen los defectos (la variabilidad).

(C) Controlar para mantener la mejora: Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X's vitales) y se cierra el proyecto [14].

2.2.11. Diseño de experimentos.

El diseño de experimentos o DOE (siglas inglesas de Design of Experiments) es un método utilizado para probar y optimizar el rendimiento de procesos, productos, servicios o soluciones. Aprovecha las técnicas como la prueba de significación estadística, la correlación y la regresión, y es útil para ver el comportamiento de un producto proceso bajo diferentes condiciones. Lo exclusivo del DOE es la oportunidad que ofrece para planificar y controlar las variables, utilizando un *experimento*, en lugar de limitarse a reunir y observar eventos del mundo real de la forma conocida como "observación empírica".[15].

2.2.12. Experimentos con mezclas.

En los experimentos con mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y por consiguiente, sus niveles no son independientes. Por ejemplo, si x_1, x_2, \dots, x_p denota las proporciones de p componentes de una mezcla, entonces

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

y

$$x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1 \text{ (es decir 100\%)}$$

Cuando hay tres componentes en la mezcla, la región experimental restringida puede representarse convenientemente en papel milimétrico trilineal, como se muestra en la Figura 2.8. Cada uno de los tres lados de la gráfica de la Figura 2.8 representa una mezcla que no contiene nada de alguno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto). Las nueve líneas de graduación en cada dirección marcan incrementos de 10% en el componente respectivo.[16]

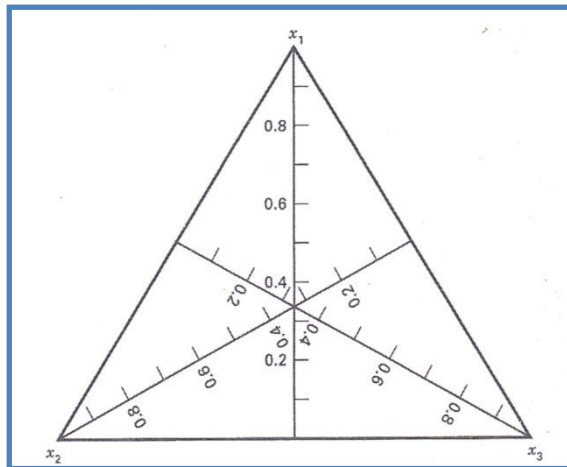


Figura 2.8. Sistema coordenado trilineal. Fuente: [16].

2.2.13. Minitab.

Minitab es un programa computacional del tipo estadístico que ha sido diseñado especialmente para estudiantes e investigadores, es muy fácil de usar, flexible y bastante “poderoso”. Este programa estadístico ha sido diseñado para trabajar con archivos de datos de tamaño moderado, los cuales pueden ser almacenados en la memoria principal. Específicamente, minitab es un conjunto de programas diseñados para ejecutar distintos procedimientos estadísticos tales como: construir tablas y gráficos, calcular medidas de tendencia central y de dispersión, tomar decisiones en base a la información dada por una o dos muestras, efectuar análisis de varianza, medir la correlación entre variables, efectuar análisis de regresiones lineales, hacer análisis con series de tiempo, analizar tablas de contingencia, utilizar métodos no paramétricos, efectuar análisis exploratorios de datos, presentar algunas distribuciones de probabilidad y simular muestras sacadas de poblaciones conocidas.[17]

2.2.14. Conceptos estadísticos.[18]

a) Análisis de varianza de un factor.

Somete a prueba la igualdad de las medias de la población cuando la clasificación se realiza mediante una sola variable. Por lo general, la variable de clasificación, o factor, tiene tres o más niveles (el ANOVA de un factor con dos niveles es equivalente a una prueba t), donde el nivel representa al tratamiento aplicado. Por ejemplo, si usted realiza un experimento en el cual mide la durabilidad de un producto fabricado utilizando uno de tres métodos, estos métodos constituyen los niveles. El procedimiento de un factor permite

examinar las diferencias entre las medias utilizando múltiples comparaciones.

Tabla de análisis de varianza (ANOVA)

Salida principal de un estudio de análisis de varianza organizado en forma de tabla. Contiene los orígenes de variación, sus grados de libertad, la suma total de los cuadrados y los cuadrados medios. La tabla de análisis de varianza también incluye las estadísticas F y los valores p. Utilice estas tablas para determinar si los predictores o factores están significativamente relacionados con la respuesta.

Las tablas de ANOVA también se utilizan en los análisis de regresión y DOE.

Los siguientes son los componentes de una tabla de ANOVA:

- Origen - indica el origen de la variación, bien sea del factor, de la interacción o del error. El total es la suma de todas los orígenes.
- GL - grados de libertad de cada origen. Si un factor posee tres niveles, los grados de libertad corresponden a 2 (n-1). Si tiene un total de 30 observaciones, el total de grados de libertad es 29 (n - 1).
- SC - suma de los cuadrados entre los grupos (factor) y la suma de los cuadrados dentro de los grupos (error)
- CM - los cuadrados medios se obtienen dividiendo la suma de los cuadrados entre los grados de libertad.
- F - se calcula dividiendo el factor CM entre el error CM; puede comparar esta relación con una F crítica encontrada en una tabla o puede utilizar el valor p para determinar si un factor es significativo.

- P – Se usa para determinar si un factor es significativo; por lo general, se compara con un valor alfa de 0.05. Si el valor p es menor que 0.05, el factor es significativo.

b) R² pronosticada

Se utiliza en el análisis de regresión para indicar en qué medida el modelo es capaz de predecir las respuestas de nuevas observaciones, en tanto que R² indica en qué medida el modelo se ajusta a sus datos. R² pronosticada puede evitar el sobreajuste del modelo y puede ser más útil que R² ajustada para comparar modelos, porque se calcula utilizando observaciones no incluidas en la estimación del modelo. El sobreajuste se refiere a modelos que parecen explicar la relación entre las variables predictoras y de respuesta para el conjunto de datos utilizado en el cálculo del modelo, pero no aportan predicciones válidas para nuevas observaciones.

c) Valor P.

Determina si es adecuado rechazar la hipótesis nula en una prueba de hipótesis. Mientras menor sea el valor p, menor es la probabilidad de rechazar por equivocación una hipótesis nula. Antes de realizar cualquier análisis, se debe determinar un nivel de significancia (α). Un valor comúnmente utilizado es 0.05. Si el valor p de una estadística de prueba es menor que su nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula.

Debido a lo indispensable de su función en las pruebas de hipótesis, los valores p se utilizan en muchas áreas de la estadística, entre las que figuran la estadística básica, los modelos lineales, la confiabilidad y los análisis multivariados, entre muchos otros. La clave es comprender lo que

representan las hipótesis nulas y alternativas en cada prueba y luego utilizar el valor p para orientarse en su decisión de rechazar la nulidad.

El valor p se calcula a partir de la muestra observada y representa la probabilidad de rechazar incorrectamente la hipótesis nula, cuando en realidad es verdadera (error de tipo I). En otras palabras, es la probabilidad de obtener una diferencia que sea, como mínimo, tan grande como la diferencia entre el valor observado y el valor hipotético a través del error aleatorio solamente.

d) Regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

En la regresión de OLS, la ecuación estimada se calcula cuando se determina la ecuación que minimiza la suma de las distancias elevadas al cuadrado entre los puntos de datos de la muestra y los valores pronosticados por la ecuación.

Supuestos de OLS que deben coincidir

La regresión de OLS ofrecerá las estimaciones no sesgadas y más precisas cuando los siguientes supuestos coincidan.

- 1) El modelo de regresión es lineal en los coeficientes. Los cuadrados mínimos pueden modelar la curvatura al transformar las variables (en lugar de los coeficientes). Debe especificar la forma funcional adecuada con el fin de modelar apropiadamente cualquier curvatura.
- 2) Los residuos tienen una media de cero. La inclusión de una constante en el modelo hará que la media sea igual a cero.
- 3) Todos los predictores no se correlacionan con los residuos.

- 4) Los residuos no se correlacionan entre sí (correlación de serie).
- 5) Los residuos tienen una varianza constante.
- 6) Ninguna variable predictora se correlaciona perfectamente ($r=1$) con otra variable predictora. También es mejor evitar las correlaciones imperfectamente altas (multicolinealidad).
- 7) Los residuos están normalmente distribuidos.

Debido a que la regresión de OLS ofrecerá las mejores estimaciones sólo cuando todas estas suposiciones coincidan, es extremadamente importante probarlas. Los métodos comunes incluyen examinar las gráficas de residuos, utilizando la falta de pruebas de ajuste y verificando la correlación entre los predictores utilizando el Factor de inflación de la varianza (VIF).

e) Gráficas de residuos.

Examinar las gráficas de residuos ayuda a determinar si los supuestos de los cuadrados mínimos ordinarios coinciden. Si estos supuestos cumplen con lo requerido, entonces la regresión de cuadrados mínimos ordinarios producirá estimaciones de coeficientes sin sesgo con la varianza mínima. Minitab 15 ofrece las siguientes gráficas de residuos.

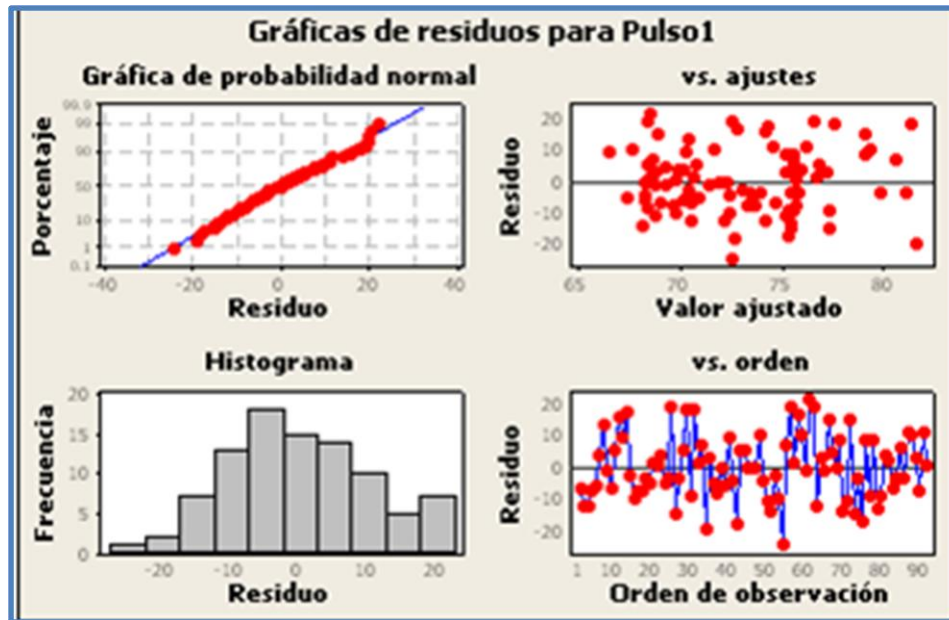


Figura 2.9. Gráficas de residuos proporcionadas por Minitab 15. Fuente: [18].

Histograma de residuos. Una herramienta exploratoria para mostrar las características generales de los residuos incluyendo valores típicos, dispersión y forma. Una larga cola lateral puede indicar una distribución sesgada. Si una o dos barras están lejos de las demás, esos puntos pueden ser valores atípicos.

Gráfica de probabilidad normal de residuos. Los puntos de esta gráfica deben generalmente formar una línea recta si los residuos están normalmente distribuidos. Si los puntos en la gráfica salen de una línea recta, el supuesto de normalidad puede ser inválido.

Residuos versus valores ajustados. Esta gráfica deberá mostrar un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0. Si un punto se encuentra lejos de

la mayoría de los puntos, puede ser un valor atípico. No deberá haber algún patrón reconocible en la gráfica de residuos. Por ejemplo, si la dispersión de valores de residuos tiende a incrementarse a medida que se incrementan los valores ajustados, entonces esto puede violar el supuesto de varianza constante.

Residuos versus orden de datos. Esta es una gráfica de todos los residuos en el orden en el que se colectaron los datos y puede utilizarse para hallar errores no aleatorios, especialmente de efectos relacionados con el tiempo. Esta gráfica le ayuda a revisar el supuesto que establece que los residuos no se correlacionan unos a otros.

f) Factor de inflación de la varianza (VIF)

Indica en qué medida la multicolinealidad (correlación entre predictores) está presente en un análisis de regresión. La multicolinealidad es problemática porque puede aumentar la varianza de los coeficientes de regresión, haciendo que sean inestables y difíciles de interpretar.

Los factores de inflación de varianza (VIF) miden en qué medida la varianza de los coeficientes de regresión estimados ha sido inflada, en comparación con un contexto en el que las variables predictoras no están linealmente relacionadas. Aplique las siguientes directrices para interpretar el VIF:

Tabla 2.4. Directrices para la interpretación del VIF. Fuente: [18]

VIF	Los predictores son...
VIF = 1	No correlacionados
1 < VIF < 5	Moderadamente correlacionados
VIF > 5 a 10	Altamente correlacionados

Los valores de VIF mayores que 10 podrían indicar que la multicolinealidad estaría incidiendo excesivamente en los resultados de su regresión. En este caso, convendría reducir la multicolinealidad eliminando los predictores irrelevantes de su modelo.

g) Pruebas de falta de ajuste

Las pruebas de falta de ajuste, utilizadas en regresión y DOE, evalúan el ajuste de su modelo. Si el valor p es inferior al nivel α seleccionado, existe evidencia de que su modelo no se ajusta con precisión a los datos. Usted pudiera necesitar agregar términos o transformar sus datos para modelar con más precisión los datos. Minitab calcula dos tipos de pruebas de falta de ajuste:

Pruebas de falta de ajuste de error puro: Utilice estas pruebas si sus datos contienen réplicas (múltiples observaciones con valores X idénticos) y usted está reduciendo su modelo. Las réplicas representan un "error puro", porque sólo la variación aleatoria puede causar diferencias entre los valores de respuesta observados. Si está reduciendo su modelo y el valor p

resultante para la falta de ajuste es inferior al nivel a seleccionado, debería conservar el término que eliminó del modelo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO.

Fase Seis Sigma: MEDIR.

En el presente capítulo se plantea la metodología y esquema a seguir para el cumplimiento de los objetivos planteados en el Capítulo I, en el se presenta nivel y diseño de la investigación así como también las técnicas y procedimientos que se llevaron a cabo para la recolección y el análisis de los resultados obtenidos.

3.1. Nivel de la investigación.

El nivel de la investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno. Aquí se indica si se trata de una investigación exploratoria, descriptiva o explicativa. En el caso de este proyecto se trata de una investigación descriptiva, consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o suceso con establecer su estructura o comportamiento [19] es de este tipo pues fueron manipuladas ciertas variables para el estudio del comportamiento de las respuestas, se describió el comportamiento de las propiedades del producto en estudio al variar su fórmula pero no se profundizó en el por qué de ese comportamiento.

3.2. Diseño de la investigación.

El diseño de investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño la investigación puede ser documental, de campo o experimental; éste proyecto tiene un diseño de tipo experimental el cual consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente) [19]. Es de este tipo pues, los resultados fueron obtenidos mediante la realización de diseños de experimentos en los cuales se varió las relaciones y los tipos de resinas para la evaluación del efecto que dicha manipulación tenía sobre las propiedades del producto.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas; la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades: oral o escrita (cuestionario), la entrevista, entre otros. Y los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar información. Ejemplo: fichas, formatos de cuestionario, guía de entrevista, cámara fotográfica o de video, entre otros [19].

Primeramente se realizó una revisión documental de otros trabajos de investigación realizados en la empresa para conocer más en lo referente al campo de las pinturas, de igual modo se realizó la revisión de la fórmula existente y mediante revisión bibliográfica y entrevistas a personal experto en

el área se investigó la función de cada uno de los componentes en dicha formulación. Luego de esto se procedió a una entrevista no estructurada con el químico de desarrollo de modo de conocer con mayor profundidad los requerimientos del cliente y el proceso de la elaboración del producto, que consistía en una mezcla de materias primas e intermedios. Sin embargo, se deseaba elaborar el producto mediante un proceso de dispersión en búsqueda de reducir los costos de la manufactura. Por lo tanto, previo acuerdo con los operadores, se realizó la observación directa del proceso de dispersión de pigmentos en la planta, lo que permitió comprender un poco más el procedimiento. Los datos fueron obtenidos de diseños de experimentos de mezcla del tipo simple centroide con tres componentes, para lo que fue necesario el uso del software estadístico Minitab 15.

3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para el procesamiento de los datos, primero fueron tabulados y luego se le aplicó el análisis mediante la estadística inferencial con ayuda del software Minitab 15, se realizó ANOVA y luego de seleccionado el modelo que mejor explicaba las variaciones observadas se describieron las superficies de contorno y de respuesta de los resultados obtenidos en los diseños de experimentos de modo tal de observar de mejor manera el comportamiento de los mismos en el estudio realizado.

3.5. Procedimiento metodológico para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

1. Evaluar la formulación existente y la situación actual de las variables críticas para la calidad exigidas por el cliente.

Para el cumplimiento de éste objetivo se realizó una revisión extensa de la formulación actual, luego se procedió a hacer una revisión bibliográfica y entrevistas no estructuradas al personal experto sobre las funciones que cumplían cada una de las materias primas presentes en la tinta.

Voz del cliente.

Un proyecto seis sigma define las necesidades o prioridades en términos del lenguaje del cliente, es decir, define las variables críticas de la calidad (VCC). Escuchar la voz del cliente es entender el mercado, saber cómo usan el producto, por qué, qué aspectos del producto o servicio le agradan y cuáles no, puesto que sólo de ésta forma se conocen las virtudes y debilidades para luego empezar a mejorar. Por ende, se analizó el plan de inspección del producto, en el cual se listan cada una de las pruebas requeridas por el cliente y los límites dentro de los cuales deben encontrarse los resultados de cada una de esas pruebas. Luego se realizó la comparación de los valores obtenidos con la formulación actual y los valores establecidos por el cliente de acuerdo a su necesidad para de éste modo definir hasta qué punto se estaba cumpliendo con sus exigencias y definir cuáles serían las principales variables a estudiar a lo largo de la investigación.

Para la evaluación de la situación actual de las variables críticas, se cargó dicha fórmula a escala piloto y se le realizaron todas las pruebas que son requeridas por el cliente.

2. Estudiar, mediante Diseños de experimentos, el comportamiento de distintas fórmulas para la tinta objeto de estudio en esta investigación.

Para esto fue necesario realizar un diagrama causa-efecto para la determinación de las causas del problema y entonces poder enfocarse en la solución del mismo. Para la construcción del diagrama se realizó una tormenta de ideas, entrevistando de manera no estructurada al personal de la empresa involucrado en esta área de pinturas, los operarios y personal del laboratorio de calidad. Se clasificaron las ideas en las categorías de causas y subcausas para luego organizarlas de manera jerárquica en el diagrama según las 6 M's (Mano de obra, Maquinaria, Medición, Medio ambiente, Métodos y Materia prima) según aplicara, y finalmente se construyó el diagrama. A fin de evaluar distintos sistemas de resinas que sirvieran como posibles nuevas formulaciones se llevaron a cabo dos diseños de experimentos, lo cual se realizó siguiendo cada uno de los pasos que se listan a continuación:

- **Selección de la (s) variable (s) de respuesta.** Independientemente del estado de la variable, se decidió evaluar en los diseños cada una de las propiedades listadas en el plan de inspección, esto debido a que es necesario el cumplimiento de todas y cada una de las especificaciones para la aceptación del producto por parte del cliente, sin embargo se

buscó priorizar las características, para simplificar un poco el desarrollo del diseño, para lo cual se tomó en cuenta el proceso en el que el cliente utiliza el producto.

➤ **Selección del diseño de experimento a utilizar.** Con base a lo obtenido en el Diagrama de Ishikawa, se deseaba realizar la evaluación de las variables de respuesta cambiando los tipos de resinas y realizando diferentes mezclas variando las composiciones de las mismas ya que éstas son las que aportan las propiedades mecánicas que debido al proceso en el que el producto es utilizado resultaron ser las más críticas. Se decidió llevar a cabo dos diseños de mezcla simple centroide de tres componentes. La Figura 3.1 muestra el gráfico de éste tipo de diseño donde cada punto rojo corresponde a las mezclas a evaluar.

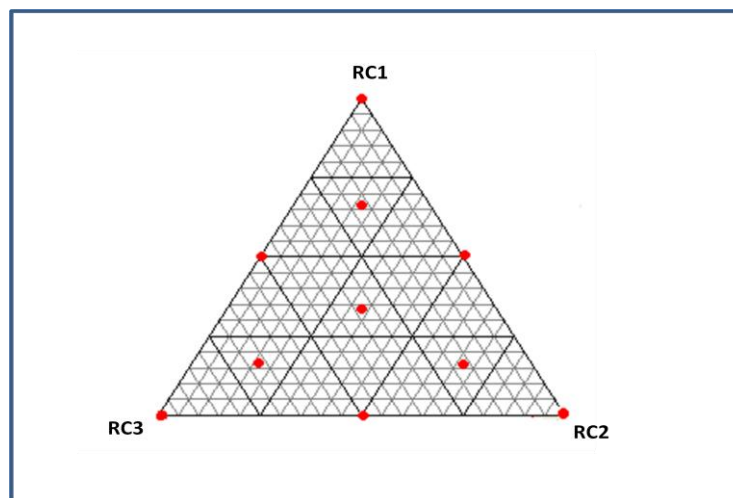


Figura 3.1. Gráfico del diseño de experimentos de mezcla simple centroide. Fuente: Minitab 15.

En ambos casos las resinas involucradas fue una alquídica (RC 01), una acrílica (RC 03) y una poliéster, la diferencia entre un diseño y otro fue la

resina poliéster utilizada. Para el primer diseño se empleó la RC 04 y para el segundo la RC 05. Se evaluaron en total con los diseños 20 pilotos, cada uno con su correspondiente réplica.

- **Preparación de pilotos.** Los pilotos fueron cargados de manera aleatoria según lo indicó el software al momento de crear el diseño. En las Tablas 3.1 y 3.2 se muestra el orden de carga en el primer y segundo diseño respectivamente. Es importante destacar que en el mismo orden se realizó la evaluación de cada una de las variables de respuesta.

Tabla 3.4. Orden de preparación de los pilotos en el primer diseño de experimentos de mezcla.

Orden std.	Orden corrida	RC 01	RC 03	RC 04
11	1	1,00	0,00	0,00
4	2	0,50	0,50	0,00
10	3	0,17	0,17	0,67
7	4	0,33	0,33	0,33
8	5	0,67	0,17	0,17
14	6	0,50	0,50	0,00
6	7	0,00	0,50	0,50
12	8	0,00	1,00	0,00
5	9	0,50	0,00	0,50
17	10	0,33	0,33	0,33
15	11	0,50	0,00	0,50
1	12	1,00	0,00	0,00
2	13	0,00	1,00	0,00
20	14	0,17	0,17	0,67
3	15	0,00	0,00	1,00
9	16	0,17	0,67	0,17
18	17	0,67	0,17	0,17
13	18	0,00	0,00	1,00
19	19	0,17	0,67	0,17
16	20	0,00	0,50	0,50

Debido a la gran cantidad de pilotos que debían prepararse, la evaluación y aplicación de los mismos se realizó en grupos de 5 para facilitar un poco el trabajo, pero todo esto sin alterarse en ningún momento el orden establecido por el software cuando se creó el diseño para evitar de éste modo posibles ruidos y evitar que los resultados obtenidos para cada variable se vieran influenciados por factores distintos a los establecidos en el diseño, que en este caso fueron los tipos de resinas y las relaciones existentes entre ellas.

Tabla 3.5. Orden de preparación de los pilotos en el segundo diseño de experimentos de mezcla.

orden std	orden corrida	RC 01	RC 03	RC 05
2	1	0,00	1,00	0,00
18	2	0,67	0,17	0,17
14	3	0,50	0,50	0,00
8	4	0,67	0,17	0,17
20	5	0,17	0,17	0,67
19	6	0,17	0,67	0,17
4	7	0,50	0,50	0,00
5	8	0,50	0,00	0,50
13	9	0,00	0,00	1,00
11	10	1,00	0,00	0,00
15	11	0,50	0,00	0,50
10	12	0,17	0,17	0,67
1	13	1,00	0,00	0,00
3	14	0,00	0,00	1,00
7	15	0,33	0,33	0,33
12	16	0,00	1,00	0,00
16	17	0,00	0,50	0,50
17	18	0,33	0,33	0,33
9	19	0,17	0,67	0,17
6	20	0,00	0,50	0,50

Como se mencionó anteriormente, los pilotos se prepararon por medio de un proceso de dispersión, para esto fue necesario desglosar las fórmulas de las dos dispersiones principales para mantener el balance entre las resinas, los solventes, aditivos y pigmentos.

El proceso de dispersión consistió en tres fases y la fórmula fue dividida en tres partes; pre mezcla, limpieza y completación. La primera parte de la fórmula estaba compuesta por una porción del total de resinas, los pigmentos, aditivos y una porción del total de solventes, esto se mezcló para facilitar un poco la humectación del pigmento, lo que se conoce como fase de pre-mezcla. La segunda fase fue la de molienda, en la que la pre- mezcla se adicionó en el molino; luego de cada pase se realizó la evaluación de la finura del producto; una vez alcanzada una finura igual o menor a 0.25 mils, se hizo pasar lo que se denomina limpieza, que es una mezcla de otra porción de las resinas de la fórmula y solvente, para arrastrar los restos de pigmento que pudiesen quedar en el cuerpo del molino. En este caso, para todos los pilotos, fue necesario realizar tres pases antes de poder adicionar la limpieza. Al producto obtenido la fase de dispersión (molienda), se le realizó la adición de la última parte de la fórmula, compuesta por el agente entrecruzante, las dos tintas para matizar el color y las porciones restantes de resinas y solventes. Es importante resaltar que debido a que la única diferencia entre los pilotos eran las resinas, se preparó un binder para facilitar la carga de los pilotos y disminuir así los posibles errores de pesada que se podían originar al cargar por separado cada materia prima y que podían representar un efecto distinto a los definidos en los diseños. Dicho binder estaba compuesto por el agente entrecruzante (RC 02), una porción de solventes, el AD 01 y las tintas empleadas para matizar el color.

- **Elaboración de los datos.** Cada piloto era de 700 g y una vez preparados se les midió la viscosidad en copa Ford #4 a 25 °C, el porcentaje de sólidos y el peso por galón. Se dividieron en 2 porciones, a las primeras porciones se les igualaron las viscosidades entre 90 y 100s a 25 °C y se colocaron en el horno de 60 °C durante 16 horas continuas. Luego de retirarlos del horno se les determinó la viscosidad a 25 °C en copa Ford #4 y se reportó la diferencia y el porcentaje de variación de la viscosidad. Las segundas porciones fueron diluidas a viscosidades entre 30 y 40 s y se aplicaron mediante una pistola a succión sobre láminas de acero para luego realizar las pruebas de apariencia y mecánicas. En el Apéndice A se muestran cada uno de los procedimientos para la realización de la pruebas de manera detallada. En la tabla 3.3 se muestran cada una de las pruebas que se les realizaron a los pilotos tanto de forma líquida como luego de aplicados en las láminas.

Tabla 6.3. Pruebas realizadas a cada piloto en los diseños de experimentos de mezcla.

Estado de la tinta	Prueba
Líquida	Viscosidad copa Ford #4
	% sólidos
	Peso / galón
	Estabilidad acelerada (Diferencia de viscosidad)
Película	Espesor
	Brillo 60°
	Adhesión
	Dureza lápiz
	Impacto directo e indirecto
	Flexibilidad
	Resistencia al xilol

➤ **Análisis e interpretación de los datos.** Los resultados se fueron introduciendo en la tabla correspondiente en el software Minitab para su posterior análisis.

Para el caso de la respuesta adhesión los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron de la comparación y valoración del resultado obtenido, con unas imágenes tomadas del ASTM correspondiente (Ver apéndice A). En cuanto al impacto directo e indirecto y la resistencia al xilol, se compararon todas las láminas y se les dio una escala a cada imagen entre 0 y 5, donde 0 representaba un fuerte desprendimiento o pérdida de brillo (xilol) y 5 representaba ningún desprendimiento o pérdida de brillo. Todas las imágenes correspondientes se encuentran en el Apéndice A con su respectiva valoración. Se realizó para cada variable un análisis de varianza y una vez elegido el modelo que mejor se ajustaba para cada respuesta, se generaron los gráficos de contornos y de superficie de respuesta.

3. Seleccionar en base a los resultados de los diseños de experimentos la formulación más adecuada para la satisfacción de las variables críticas de la calidad.

Debido a que con los diseños de experimentos no se consiguió una fórmula que cumpliera con todas las especificaciones y no se logró realizar una optimización, fue necesario preparar otros pilotos tomando como referencia las respuestas arrojadas por los modelos del diseño para las propiedades mecánicas y realizar predicciones con las ecuaciones matemáticas de los modelos que lograron ajustarse a los datos y que

además tenían valores de R^2 pronosticado mayores a 70 % para que dichas predicciones fuesen lo más confiables posibles.

Luego de evaluar estos últimos pilotos y encontrar el que lograra cumplir con todas las variables exigidas, se procedió a cargar un piloto confirmatorio para verificar que se repitieran los resultados obtenidos y poder concluir esta parte de la investigación.

4. Realizar una evaluación de los costos de la nueva formulación considerando solo las materias primas involucradas y compararlos con los de la formulación actual.

Se realizó la evaluación económica de la nueva propuesta, para esto solo se tomó en cuenta el costo asociado a cada una de las materias primas excluyendo los costos referentes a los procesos, tomando en cuenta que se está pasando de una fórmula que consistía sólo en la mezcla de materias primas a un proceso en el que primero se dispersan los pigmentos para obtener un intermedio y luego realizar la completación de la fórmula y se realizó la comparación con el costo de la formulación actual.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Fase Seis Sigma: ANALIZAR y MEJORAR.

En esta etapa se plantea, como otro aspecto constitutivo de la presente investigación, todo lo referido a los resultados obtenidos del diseño, la discusión y el análisis de los mismos, especificando el estudio de las variables propuestas para mejorar la eficiencia del producto en estudio.

4.1. Evaluación de la formula existente y la situación actual de las variables críticas de la calidad exigidas por el cliente.

4.1.1. Formulación actual.

Esta investigación partió de una fórmula existente que no cumplía con ciertas especificaciones del cliente, las cuales serán descritas más adelante. La Figura 4.1 muestra cómo se encuentra constituido el producto en la actualidad, allí RC 01 es la resina base del sistema, es de tipo alquídica y es la que se encuentra en mayor proporción (entre las resinas). La resina alquídica empleada es conocida por reaccionar de manera rápida, sin embargo deja entre sus enlaces espacios que le aportan a la película de recubrimiento flexibilidad.

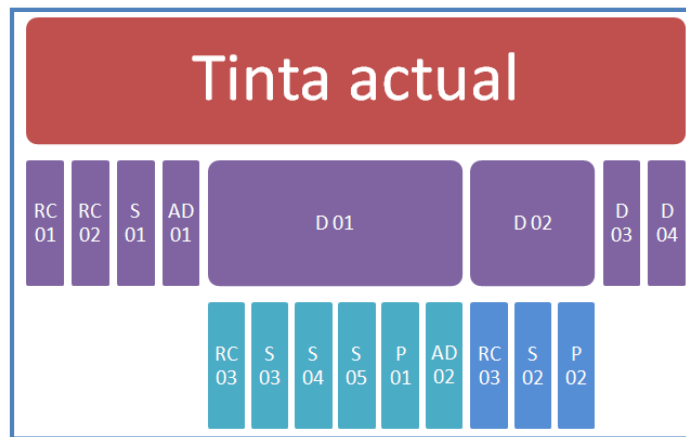


Figura 4.1. Composición de la tinta actual. Fuente: Du Pont

La RC 02 es una resina amínica también conocida como agente entrecruzante, es la que permite una mayor formación de enlaces durante la reticulación de la película de recubrimiento. Este tipo de resina aporta al producto mayor dureza debido a la gran cantidad de sitios activos que posee, por lo que debe existir un balance entre este tipo de resina y las otras existentes en la formulación para que la película resultante tenga la dureza requerida.

EL S01 es un solvente de la familia orgánica éster con un elevado tiempo de evaporación, éste tipo de solvente es añadido para favorecer la estabilidad del sistema pues es difícil de evaporar y por consiguiente permanece por más tiempo en el producto, evitando que el mismo se seque y descomponga. El AD 01 es un aditivo de superficie que actúa disminuyendo la tensión superficial de la tinta líquida y es utilizado en

pequeñas cantidades para favorecer la humectación del sustrato y por sus propiedades anti cráteres, si dicho aditivo se usa en exceso puede conducir a problemas de adhesión. El D 01 y D 02 son las dispersiones principales del producto y son las responsables del color, mientras que D 03 y D 04 sólo son utilizadas para matizar por lo que encuentran porcentajes muy pequeños (entre 0.05 y 1%).

En lo que respecta a las dos dispersiones principales, ambas poseen la RC 03, resina de tipo acrílica que aporta dureza a la película de recubrimiento, sin embargo a las condiciones en las que se hornea el producto ésta resina no consigue un buen curado. Los solventes que se encuentran en las dispersiones son una cetona (S 02) de evaporación rápida un éster (S 03) también de evaporación rápida, un aromático sustituido (S 04) y otro éter (S 05) todos solventes no polares y no disminuyen de manera efectiva la viscosidad de las resinas del producto.

Por último, el AD 02 es un aditivo antisedimentante que en reposo adquiere una estructura mediante interacciones de Van der Waals similar a una torre de naipes que atrapa las partículas de pigmento en los espacios que quedan en la estructura y evita de este modo la precipitación, aumenta además el volumen del líquido y se hace más viscoso debido a la forma que toma, pero al proporcionar energía mediante agitación, dicha estructura se rompe y la tinta se hace más fluida.

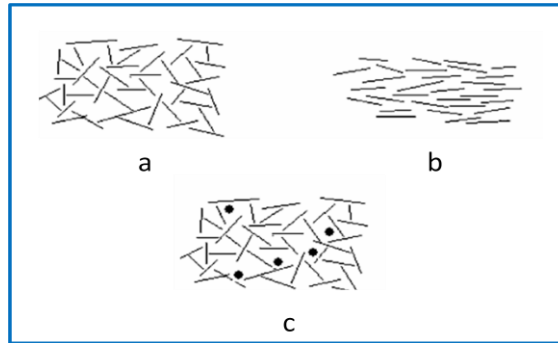


Figura 4.2. Efecto de naipes del AD 02: a) reposo; b) en agitación; c) Partículas de pigmento atrapadas en el AD 02.[22]

4.1.2. Situación actual de las Variables Críticas de la Calidad.

En éste caso, según la metodología Seis Sigma se debería realizar un análisis de Capacidad y Estabilidad y en base a los resultados obtenidos de dicho análisis proceder con el plan de acción para la mejora. Sin embargo para realizar esto se requiere de información histórica de resultados del proceso o producto que se está evaluando y en éste caso es un producto del cual sólo se disponen los resultados de un pequeño lote (2 galones) que se enviaron al cliente y resultaron rechazados por el mismo debido a que no cumplía con todos sus requerimientos. Lo que se realizó entonces para determinar la situación actual fue la carga de la fórmula de partida a escala piloto para la medición de sus propiedades tanto en forma líquida como en la película de recubrimiento formada sobre sustratos de acero. La Tabla 4.1 muestra los resultados de las pruebas para la tinta líquida.

Tabla 4.1. Resultados de las pruebas realizadas a la tinta en su forma líquida.

Prueba	Resultado
Viscosidad copa Ford # 4 (s)	91,01
Sólidos por peso (%)	57,11
Peso por galón (kg/gal)	4.25

Posteriormente el piloto fue diluido a una viscosidad entre 30 y 35 segundos con S 04 para ser aplicado con una pistola a succión sobre una lámina y se horneó durante 15 minutos en un horno a 190 °C para su posterior evaluación. Los resultados se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados de las pruebas realizadas al piloto luego de aplicarlo.

Prueba	Resultado
Brillo 60° (%)	90,30
Dureza lápiz	HB
Adhesión (%)	<100
Impacto Directo	2
Impacto Indirecto	2
Flexibilidad (mm)	0
Resistencia a la embutición(mm)	<70

En la tabla anterior, el resultado reportado para la resistencia a la embutición, es el proporcionado por el cliente cuando se les envió el lote

para la evaluación, en el informe realizado por ellos no reportaron exactamente cuál fue la profundidad de deformación que resistió la película de recubrimiento antes de presentar un quiebre o desprendimiento, sólo mencionaron que dicho valor fue menor a 70 mm que es lo que ellos requieren.

4.1.3. Voz del Cliente.

Siguiendo la metodología Seis Sigma, según la que la satisfacción del cliente es fundamental, se resume en la Tabla 4.3 los requerimientos del cliente para cada una de las propiedades del producto y en los cuales se enfocó el estudio para el cumplimiento de los objetivos.

Tabla 4.3. Voz del cliente para el producto en desarrollo.

Propiedad	Voz del Cliente
Viscosidad (s)	>110
Brillo 60° (%)	(80-90)
Dureza lápiz	(HB-2H)
Adhesión (%)	100
Flexibilidad (mm)	0-5
Impacto Directo e indirecto	>3
Resistencia a la embutición (mm)	Mínimo 70

Como se observa en la Tabla 4.3 la Viscosidad del producto debe ser mayor a 110 segundos, esto lo requieren así debido a que la tinta se vierte sobre unos rodillos para aplicarla a las láminas y si es menor no se alcanzan los espesores necesarios y no se cubre satisfactoriamente el sustrato, el estatus de esta variable es no cumplido puesto que como se observa en la Tabla 4.1 el valor obtenido con la formulación actual es menor. El brillo,

debido a que de este modo se garantiza buena apariencia de los tambores luego de pintados, además una superficie brillante sugiere una buena formación de la película de recubrimiento. El brillo se expresa en porcentaje puesto que es una comparación entre la superficie del recubrimiento y un patrón del equipo cuando se hace incidir un haz de luz con distintos ángulos, para este caso se realizó a 60°, esta propiedad, según lo mostrado en la Tabla 4.2 está un poco por encima de la especificación sin embargo dicha desviación no es tan marcada.

La dureza de una película se determina por su resistencia ante acciones mecánicas, como penetraciones o rayados, en este caso el cliente exige que se realice el ensayo con lápices estandarizados para esta prueba y que el recubrimiento resista como mínimo HB y máximo 2H, esta propiedad también está siendo cumplida, y se encuentra en el límite inferior de la especificación, por lo que podría aumentarse un poco teniendo cuidado de no pasar el límite superior de la especificación. La adhesión es la fuerza de enlace existente entre la película de recubrimiento seca y el sustrato sobre el cual fue aplicado, en este caso, el cliente exige que no exista ningún desprendimiento, y con el piloto cargado se aprecia que hay un leve desprendimiento que aunque el cliente no presentó no conformidad debido a que no fue tan marcada la falla el desempeño de esta variable podría ser mejorado.

Por otra parte, debido al proceso por el cual el cliente elabora los tambores, es necesario que la película resista a deformaciones, este exige que luego de la deformación lenta con un mandril cónico no exista un desprendimiento del recubrimiento mayor a 5 mm, la fórmula actual cumple

satisfactoriamente este ensayo no observándose ningún quiebre de la película de recubrimiento luego de realizar la deformación. Los ensayos de resistencia al impacto y a la embutición son los más exigentes, en el caso del primero no debe existir desprendimiento de la película luego de realizar un impacto brusco a la película de manera directa e indirecta y en el caso de la embutición se realiza una deformación con un punzón de manera progresiva y de igual modo no debe existir desprendimiento. En cuanto al impacto directo e indirecto, el valor mínimo de resistencia debe ser 3 (Apéndice A) y con la fórmula actual la resistencia es menor. Por último, la resistencia a la embutición tampoco se cumple actualmente pues la profundidad de deformación resistida con el producto actual fue menor a los 70 mm exigidos por el cliente.

En resumen, si se comparan los resultados de las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se puede observar que actualmente no se cumple con lo exigido por el cliente en cuanto a viscosidad, brillo, adhesión, resistencia al impacto directo e indirecto y resistencia a la embutición siendo la flexibilidad la única prueba mecánica que se aprueba, sin embargo debido a los resultados de impacto y embutición se ve que la flexibilidad no es la adecuada para el producto puesto que no resistiría el proceso empleado por el cliente para elaborar los tambores.

4.2. Estudiar, mediante Diseños de experimentos, el comportamiento de distintas fórmulas para la tinta objeto de estudio en esta investigación.

Cómo se vio anteriormente, el producto debe cumplir con una amplia lista de especificaciones, sin embargo, para la realización del diseño de experimentos es necesario priorizarlas para así poder enfocar mejor el estudio, la variable más crítica entonces, debido al proceso mediante el cual elaboran el tambor es la resistencia a la embutición, que no es más que la resistencia a la deformación que se le realiza al tambor luego de pintado como se describió en el capítulo I, dicha propiedad está a la vez relacionada con la flexibilidad y la resistencia al impacto, por lo que se decidieron agrupar las tres generalizándolas como “Sistema deficiente en flexibilidad”, entendiéndose como deficiente un sistema muy rígido, para la elaboración de la tormenta de ideas y posterior ensamblaje del diagrama de Ishikawa.

Las respuestas dadas por los entrevistados fueron en primer lugar que podía deberse a que el sistema tuviera una alta relación resinas/agente entrecruzante debido a que, cuando esto es así, ocurre la formación de gran cantidad de enlaces dando lugar a un sistema extremadamente rígido e incapaz de resistir grandes deformaciones sin presentar fracturas en la película.

Por otro lado también alegaron que el tipo de resinas empleadas en la fórmula es de vital importancia para la flexibilidad del sistema, no todas las resinas poseen la misma reactividad, aquellas que poseen mayor número de

puntos reactivos y muy cercanos unos de otros, forman estructuras más rígidas.

Además, que el tiempo y las condiciones de reacción influían en el grado de la misma, en el caso de éste tipo de recubrimientos, el iniciador en la reacción es el calor, y el proceso es llevado a cabo a una elevada temperatura, pero el tiempo de reacción es corto, lo que da menos chance a que ocurra una buena reacción entre las resinas y el agente entrecruzante.

Por otra parte que el desempeño del producto depende de la manera en la que se le utilice, por ejemplo, en el caso del producto en estudio, es tan crítica la resistencia a la embutición porque primero pintan la lámina y luego es que la deforman, esto no sería así si se elaborara el tambor y luego se pintara. Toda esta información se clasificó de acuerdo a las 6 M's antes mencionadas y el resultado fue el diagrama que se muestra a continuación en la Figura 4.3

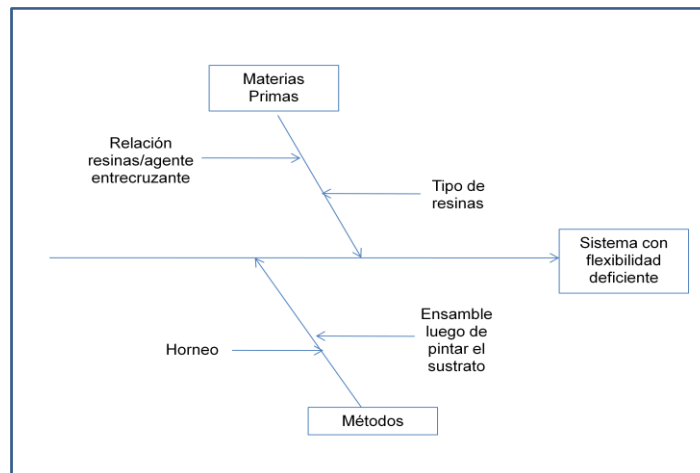


Figura 4.3. Diagrama de Ishikawa para el problema de flexibilidad deficiente.

Con base a la información recolectada en la elaboración del diagrama de Ishikawa junto con lo revisado bibliográficamente, se decidió evaluar mediante diseño de experimentos el efecto de las composiciones de distintos tipos de resinas en el sistema, sobre las propiedades mostradas en la Tabla 4.3 manteniendo constante la relación resinas/agente entrecruzante, puesto que el proceso mediante el cual elaboran los tambores no es posible cambiarlo y esta vez se realizó en vez de mediante proceso de mezcla, a través de un proceso de dispersión. El sistema actual sólo incluye una resina de tipo alquídica, RC 01, como base del sistema y tintas con resinas acrílicas. Se evaluó el comportamiento del sistema incluyendo una resina de tipo poliéster pues éstas son parecidas a las resinas alquídicas en cuanto a la flexibilidad que aportan al sistema pero diferentes en cuanto a reactividad, se probó con una más reactiva que la RC 01 y una con reactividad un poco inferior, RC 04 y RC 05 respectivamente y se cargó de forma libre la RC 03 que es la resina base de las dispersiones principales del producto actual, de tipo acrílica pues le proporciona al sistema estabilidad frente al almacenamiento y además es muy buena para la elaboración de dispersiones.

Cómo se mencionó anteriormente, la relación resinas/agente entrecruzante se mantendría constante durante los diseños, para la selección de cual sería dicha relación, se prepararon 4 pilotos mediante mezcla de las materias primas, tomando como base la fórmula actual pero variando la relación resina/agente entrecruzante entre 75/25 y 90/10 con saltos de 5 % entre cada piloto. A estos pilotos se les realizaron todas las pruebas y se enviaron láminas al cliente para la evaluación de la resistencia a la embutición, los resultados se muestran a continuación en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resultados los pilotos para la selección de la relación de resinas/agente entrecruzante.

Propiedad	Pilotos			
	75/25	80/20	85/15	90/10
Viscosidad F-4 (s)	91,01	134,12	156,29	181"58
Sólidos por peso (%)	57,1065	56,5895	56,3890	56,3936
Peso/galón (kg/Gal)	4,2457	4,2471	4,2407	4,2520
Brillo 60°	90,30	91,20	91,10	91,00
Dureza lápiz	>HB	>HB	>HB	>HB
Impacto Directo	3	3	4	4
Impacto indirecto	2	2	4	4
Flexibilidad (mm)	0	0	0	0
Resistencia al Xilol	3	3	5	5
Adhesión	100	100	100	100
Embutición	<70	<70	70	>70

Las variables más importantes para dicha selección son las mecánicas, sobre todo la de resistencia a la embutición, y cómo se observa en la Tabla 4.4 sólo los pilotos con relación 85/15 y 90/10 aprobaron este ensayo, y tuvieron un buen desempeño en cuanto al resto de las propiedades mecánicas, para no dejar dicha relación en el mínimo de agente entrecruzante se decidió entonces trabajar con la relación 85/15 puesto que menor cantidad de agente entrecruzante, puede al final traer problemas en cuanto a la resistencia al Xilol, tomando en cuenta que no todas las resinas con las que se trabajaría en el diseño tienen la misma reactividad de la resina alquídica con la que se realizó esta parte de la investigación.

Al evaluar los pilotos con los que se seleccionó la relación resina/agente entrecruzante con la que se trabajaría en el diseño de experimentos, se observó que el producto presentaba una elevación considerable de la viscosidad luego de estar almacenado unos días, por lo que se decidió sumar a la lista de variables a evaluar, la diferencia de viscosidad luego de colocar el producto en un recipiente tapado en un horno durante 16 horas continuas y registrar el aumento en la viscosidad y el porcentaje de dicho aumento con respecto al valor inicial.

Los resultados exactos de cada variable de respuesta en ambos diseños se encuentran en el Apéndice B, a continuación se hará la presentación de algunos ANOVA y gráficos de respuesta de cada variable realizando la comparación de lo obtenido en el primer diseño (RC 04) y en el segundo (RC 05). Debido a que las variables críticas en el estudio del diseño son la viscosidad, el porcentaje del delta de viscosidad, el impacto directo y la resistencia al xilol, sólo se presentarán en esta parte del manuscrito los resultados de estas variables de respuesta, y el resto se encuentran en el Apéndice B

4.2.1. Viscosidad.

La primera variable de respuesta evaluada fue la viscosidad original de los pilotos, Los resultados del primer diseño muestran un R^2 ajustado (92.16%) (Ver Tabla 4.5) que indica que el modelo se ajusta muy bien a los datos obtenidos, en este caso el mejor ajuste se obtuvo con el modelo lineal, con el menor valor-P (0.000) y los mayores coeficientes de suma de cuadrados. El R^2 pronosticado (87.31%) sugiere que pueden hacerse predicciones confiables empleando este modelo y los valores de VIF reportados indican que las variables predictoras (tipo de resina) están

moderadamente relacionadas, a lo que puede deberse la falta de ajuste observada.

Tabla 4.5. Regresión para mezclas: Viscosidad Vs. RC 01,RC 03,RC 04

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	93,08	8,725	*	*	1,964	R-cuad. 92,16%
	Acrílica	219,7	8,725	*	*	1,964	
	Poliéster	112,33	8,725	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 87,31%
	Alq*Acríl	-83,38	40,212	-2,07	0,057	1,982	
	Alq*Poli	-13,22	40,212	-0,33	0,747	1,982	R-cuad. (ajust) 89,35%
	Acríl*Poli	-29,91	40,212	-0,74	0,469	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	26921	26921	5384	32,89	0
	Lineal	2	26114	20481	10241	62,56	0
	Cuadrática	3	807,1	807,1	269	1,64	0,224
	Error residual	14	2291,6	2292	163,7		
	Falta de ajuste	4	2272,2	2272	568,1	293,3	0
	Error puro	10	19,4	19,4	1,9		
	Total	19	29213				

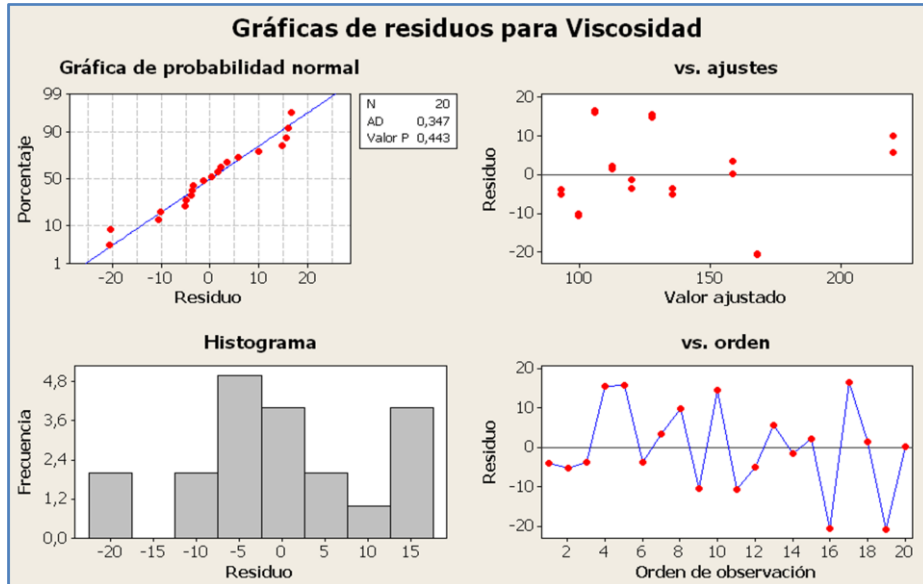


Figura 4.4. Gráficos de residuos para Viscosidad

Se realizó la verificación de los supuestos de regresión de mínimos cuadrados y se observó que todos se cumplieron, esto se visualiza en la Figura 4.4, el valor P en la prueba de normalidad para los residuos resultó mayor que 0.05 por lo que se acepta la hipótesis nula de que los residuos siguen una distribución normal, en el gráfico de residuos vs. valores ajustados se observa que los mismos se encuentran distribuidos aleatoriamente a ambos lados del 0, con lo que se verifica el supuesto de varianza constante, el gráfico de residuos vs. orden muestra que los datos no tienen correlación entre sí pues no siguen un patrón determinado. Como el aspecto de los histogramas depende del número de intervalos para agrupar los datos, sólo se evaluará la normalidad con el primer gráfico mostrado en la Figura 4.4. Debido a la similitud entre los gráficos sólo se mostrarán aquellos en los que no se cumplan los supuestos, el resto se encuentra en el Apéndice B.

De igual modo en el segundo diseño se observó que existía una correlación moderada entre las variables (Valores VIF). El modelo que mejor se ajustó fue el lineal ($P= 0.000$) con un valor de R^2 ajustado bastante bueno (83.35%) y un R^2 pronosticado que sugiere que pueden hacerse predicciones confiables siguiendo dicho modelo (82.77%). Todos estos resultados se muestran en la Tabla 4.6 a continuación.

Tabla 4.6. Regresión para mezclas: Viscosidad Vs. RC 01, RC 03, RC 05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídic	89,4	11,78	*	*	1,964	R-cuad. 92,16%
	Acrílico	230,7	11,78	*	*	1,964	
	Poliéster	178,2	11,78	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 87,31%
	Alq*Acríl	-88,5	54,28	-1,63	0,125	1,982	
	Alq*Poli	-44,7	54,28	-0,82	0,424	1,982	R-cuad. (ajust) 89,35%
	Acríl*Poli	-113	54,28	-2,08	0,056	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	29851	29851	5970	20,02	0
	Lineal	2	27588	22468	11234	37,67	0
	Cuadrática	3	2263,1	2263	754,4	2,53	0,099
	Error residual	14	4174,7	4175	298,2		
	Falta de ajuste	4	4154,6	4155	1039	516,2	0
	Error puro	10	20,1	20,1	2		
	Total	19	34025				

La verificación de los supuestos de mínimos cuadrados también resultó satisfactoria en este caso. Por otra parte se realizaron los gráficos de superficie de respuesta y de contornos correspondientes mostrados en la Figura 4.5.

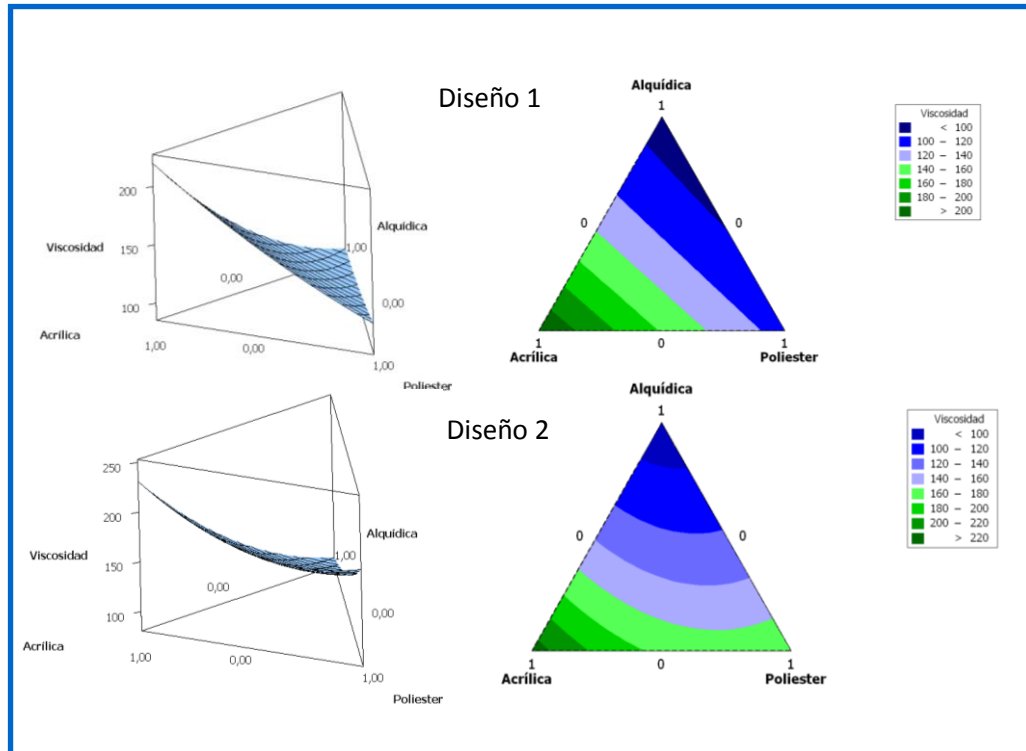


Figura 4.5. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para Viscosidad en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

En los gráficos mostrados en la Figura 4.5 se observa que en ambos diseños las mayores viscosidades obtenidas fueron las de los sistemas completamente acrílicos, Los sistemas completamente alquídicos resultaron los de menores viscosidades y los pilotes 100% resina poliéster presentaron

valores intermedios pero más cercanos a las viscosidades de los pilotos completamente alquídicos. Al ir adicionando resina acrílica, si nos movemos sólo en el lado que une los vértices alquídica-acrílica, se ve cómo va incrementándose la viscosidad del producto, mientras que si nos movemos en el vértice alquídica-poliéster, la variación en la viscosidad de los pilotos no es tan marcada, lo que puede deberse a la similitud existente entre éstas resinas. De igual modo al moverse en el lado correspondiente a las mezclas binarias poliéster-acrílica se ve el incremento de la viscosidad conforme aumenta el porcentaje de resina acrílica en el sistema. Si se comparan los gráficos de ambos diseños se observa que en el segundo diseño la superficie presenta una curvatura suave y que en el primer diseño las áreas son más lineales. Las diferencias observadas se debe a que cómo se es sabido un solvente no tiene la misma capacidad de disolver distintos tipos de resinas, dicha solubilidad depende de la estructura tanto del solvente como la de la resina, mientras más similares sean en cuanto a polaridad, serán más compatibles y las viscosidades disminuirán. Aquí influye también el tamaño de la molécula de la resina y qué tan ramificada sea, pues dependiendo de esto puede arreglarse en solución como un espiral o adoptar formar más voluminosas y con un patrón menos definido, lo que hace también que haya una mayor viscosidad en el sistema.

4.2.2. Delta de viscosidad y porcentaje del delta de viscosidad.

En este caso para ambas variables de respuesta en los dos diseños el modelo que mejor se ajusto a los datos también fue el lineal, todos muestran buenos ajustes a las observaciones y tienen valores de R^2 pronosticado indicativos de que pueden realizarse predicciones certeras con estos modelos, Para todos los casos resultó satisfactoria la verificación de los

supuestos de mínimos cuadrados. No se mostrarán todas las tablas, sino que sólo se mostrarán las de la variable porcentaje de delta de viscosidad, el resto se muestran en el Apéndice B para simplificar un poco la presentación de los resultados. La verificación de los supuestos de regresión mínimos cuadrados fue satisfactoria para las dos variables de respuesta en ambos diseños realizados.

Tabla 4.7. Regresión para mezclas: Porcentaje de delta de viscosidad Vs. RC01,RC03,RC04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	289,3	5,518	*	*	1,964	R-cuad. 99,28%
	Acrílica	12,8	5,518	*	*	1,964	
	Poliéster	43,4	5,518	*	*	1,964	
	Alq*Acríl	-					R-cuad. (pred.)
	Alq*Poli	336,6	25,429	-13,2	0	1,982	98,73%
	Acríl*Poli	29,6	25,429	1,16	0,264	1,982	R-cuad. (ajust)
		140	25,429	5,5	0	1,982	99,02%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	125761	1E+05	25152	384,2	0
	Lineal	2	112151	1E+05	50558	772,4	0
	Cuadrática	3	13610	13610	4537	69,3	0
	Error residual	14	916	916	65,5		
	Falta de ajuste	4	855	855	213,6	34,5	0
	Error puro	10	62	62	6,2		
	Total	19	126678				

De igual modo a continuación se muestran los gráficos de superficie de respuesta y de contorno para el porcentaje de delta de viscosidad, los gráficos para delta de viscosidad tienen un comportamiento similar a los mostrados a continuación en la Figura 4.6 y se encuentran en el Apéndice B. En la Figura 4.6 se observa claramente que en los sistemas completamente alquídicos ocurrió un aumento de la viscosidad del producto bastante grande, lo que no es conveniente pues indica que dicha fórmula no es lo suficientemente estable, de hecho al culminar el periodo de la prueba para estos pilotos, los mismos tenían apariencia casi de gel, lo que sugiere que la resina empleada es altamente reactiva, los sistemas completamente acrílicos fueron los que sufrieron menores cambios en la viscosidad seguidos por los de poliéster, en las mezclas de las tres resinas se observa que mientras mayor sea la cantidad de resina alquídica en la fórmula, esta resistirá menos a este ensayo. Lo deseado en este caso es que el producto resista a estar almacenado durante un largo tiempo sin sufrir cambios considerables en la viscosidad y con los diseños se logró visualizar que los sistemas ricos en resina acrílica y poliéster son los que tienen mayor resistencia a esta prueba.

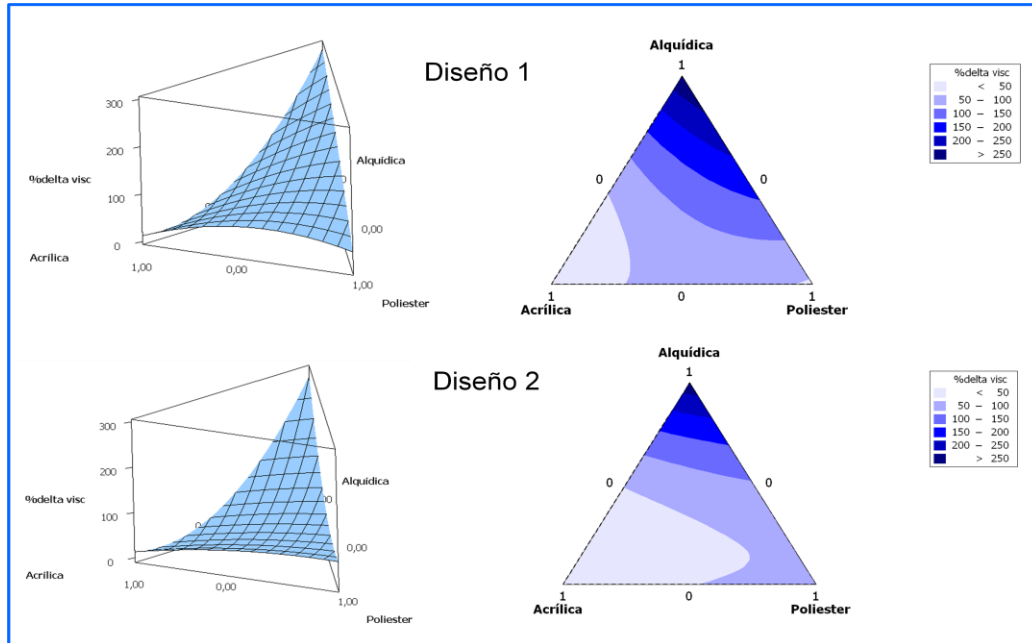


Figura 4.6. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para porcentaje de delta de viscosidad en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

4.2.3. Impacto directo e indirecto.

Para estas respuestas y en ambos diseños la Tabla de ANOVA muestra que no se logró un ajuste apropiado por parte de los modelos, por lo que no pueden tomarse en cuenta los modelos matemáticos arrojados por el programa para realizar predicciones acerca del comportamiento de los pilotos. A continuación sólo se muestra la Tabla de ANOVA del impacto Directo en el primer diseño, el resto de los análisis realizados por el software estadístico se encuentran en el Apéndice B

Tabla 4.8. Regresión para mezclas: Impacto directo vs RC 01, RC 03, RC 04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	4,025	0,7575	*	*	1,964	R-cuad. 23,40%
	Acrílica	2,934	0,7575	*	*	1,964	
	Poliéster	2,388	0,7575	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 0,00%
	Alq*Acríl	-1,268	3,4911	-0,36	0,722	1,982	R-cuad. (ajust) 0,00%
	Alq*Poli	3,641	3,4911	1,04	0,315	1,982	
	Acríl*Poli	1,46	3,4911	0,42	0,682	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	5,278	5,278	1,056	0,86	0,534
	Lineal	2	3,556	3,055	1,527	1,24	0,32
	Cuadrática	3	1,722	1,722	0,574	0,47	0,711
	Error residual	14	17,272	17,27	1,234		
	Falta de ajuste	4	12,772	12,77	3,193	7,1	0,006
	Error puro	10	4,5	4,5	0,45		
	Total	19	22,55				

Para estas variables de respuesta no fue satisfactoria la verificación de los supuestos de regresión de mínimos cuadrados de los residuos pues no se cumplió el de normalidad ni el de varianza constante para el impacto directo ni indirecto en ninguno de los diseños y el de normalidad sólo se cumplió en el caso del segundo diseño, sin embargo estos resultados no son confiables puesto que no se obtuvo un modelo que describiera de modo aceptable las variaciones observadas en los datos. A continuación se

muestra sólo uno de los gráficos de residuos para estas variables a modo de ejemplo, el resto se encuentra en el Apéndice B.

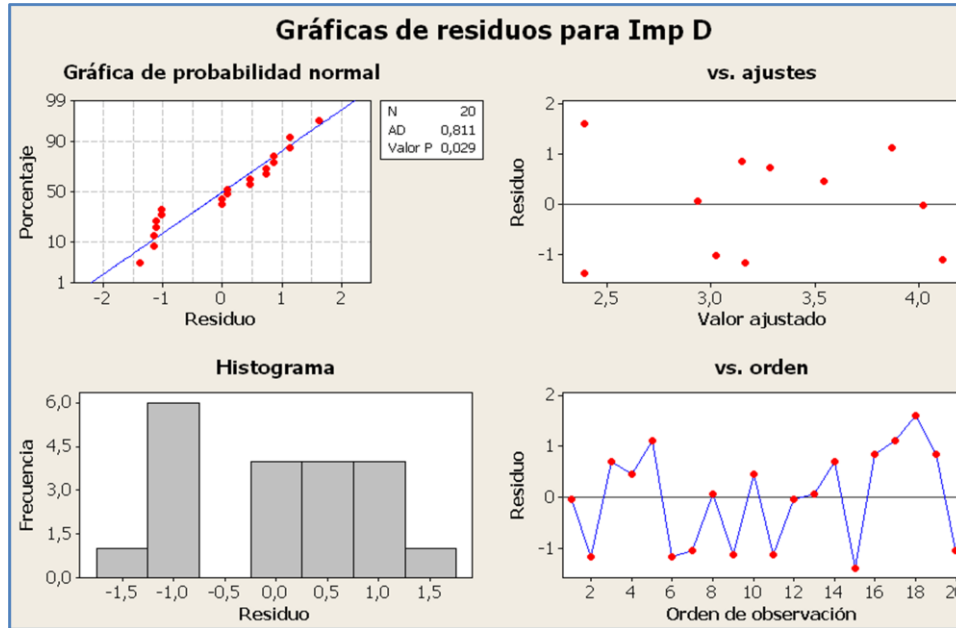


Figura 4.7. Gráficos de residuos para impacto directo.

Aunque los gráficos de respuesta obtenidos con los diseños realizados no son confiables como para realizar predicciones, si se observan sólo los extremos correspondientes a un solo componente y no el resto de la superficie, se puede apreciar que la resina que ofreció una mayor resistencia al impacto fue la alquídica, la que menos resistió al ensayo fue la poliéster en el caso del primer diseño, y la acrílica en el segundo. La falta de resistencia al impacto puede deberse a varias razones, entre las primeras está la falta de flexibilidad de la película de recubrimiento, otra es que se haya formado una estructura muy débil al momento del entrecruzamiento y otra es que la película no se haya anclado bien al sustrato y que debido a eso se desprenda al momento de sufrir un impacto. Si sólo se toman en cuenta los

vértices correspondientes a cada componente, el comportamiento para la variable impacto indirecto, tuvo un comportamiento similar (ver Apéndice B).

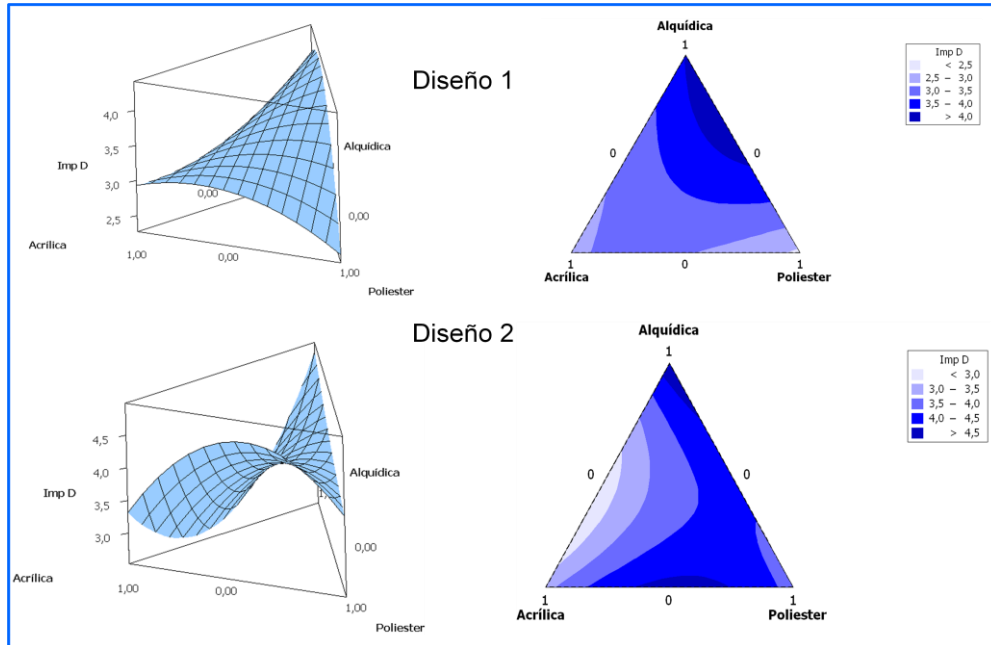


Figura 4.8. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para impacto directo en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

Es posible que la falta de ajuste de los modelos matemáticos a los datos esté relacionada con el hecho de que se le trató de dar valores a una variable que era de atributo, y que por ser dichos valores discretos y no continuos, el programa no haya podido explicar dichas diferencias entre cada piloto en relación a la proporción de cada resina

4.2.4. Resistencia al xilol.

Por último, para la resistencia al xilol en el primer diseño el programa propone un modelo estadístico con buenos valores de R^2 , tanto de ajuste a los datos, como de predicciones, a pesar de que se le asignaron valores discretos a una variable que era mas de tipo atributo. La resistencia al xilol es otra propiedad que da una idea de qué tan bueno fue el entrecruzamiento logrado al momento de la formación de la película entre las resinas presentes y el agente entrecruzante. El ensayo se fundamenta en que si quedaron sitios activos libres en la película, éstos serán atacados por el solvente visualizándose por una disminución en el brillo. Básicamente pueden ocurrir dos cosas para que esto suceda. La primera, que haya un exceso de agente entrecruzante en el sistema y la segunda el caso contrario, que se tenga un resina muy reactiva (con gran cantidad de sitios activos) y no sea suficiente la cantidad de agente entrecruzante para que reaccione por completo durante el curado.

Tabla 4.9. Regresión para mezclas: Resistencia al xilol Vs. R 01, RC 03, RC 04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R	
	Alquídica	5,231	0,3568	*	*	1,964	R-cuad. 91,45%	
	Acrílica	3,14	0,3568	*	*	1,964		
	Poliéster	-	0,315	0,3568	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 86,21%
	Alq*Acríl	-	3,556	1,6443	-2,16	0,048	1,982	
	Alq*Poli	-	2,465	1,6443	-1,5	0,156	1,982	R-cuad. (ajust) 88,39%
	Acríl*Poli	-	1,354	1,6443	0,82	0,424	1,982	

Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	40,968	40,97	8,194	29,94	0
	Lineal	2	38,889	34,51	17,25	63,04	0
	Cuadrática	3	2,0795	2,08	0,693	2,53	0,099
	Error residual	14	3,8316	3,832	0,274		
	Falta de ajuste	4	3,8316	3,832	0,958	*	*
	Error puro	10	0	0	0		
	Total	19	44,8				

De igual modo, el segundo diseño también propone un modelo estadístico que se ajusta bien a los datos obtenidos, y con el cual pueden realizarse predicciones confiables pues los valores reportados para los R^2 son bastante buenos.

Tabla 4.10. Regresión para mezclas: Resistencia al xilol Vs. RC 01, RC 03, RC 05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	4,955	0,3798	*	*	1,964	R-cuad. 84,60%
	Acrílica	3,319	0,3798	*	*	1,964	
	Poliéster	0,864	0,3798	*	*	1,964	
	Alq*Acríl	-					R-cuad. (pred.)
	Alq*Poli	5,525	1,7503	-3,16	0,007	1,982	72,39%
	Acríl*Poli	1,566	1,7503	0,89	0,386	1,982	R-cuad. (ajust)
		-					
	1,707	1,7503	-0,98	0,346	1,982	79,11%	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	23,858	23,86	4,772	15,39	0
	Lineal	2	20,222	18,65	9,327	30,08	0
	Cuadrática	3	3,636	3,636	1,212	3,91	0,032
	Error residual	14	4,3418	4,342	0,31		
	Falta de ajuste	4	4,3418	4,342	1,085	*	*
	Error puro	10	0	0	0		
	Total	19	28,2				

Por otra parte, la verificación de los supuestos de regresión de los residuos resultó satisfactoria en este caso pues todos fueron cumplidos en ambos diseños, lo que confirma que las predicciones realizadas con los modelos propuestos por el programa serán confiables. En los gráficos de respuesta se observa que el comportamiento en ambos diseños fue muy parecido, siendo los pilotos completamente alquídicos los que presentaron

una mayor resistencia y los de menor resistencia los compuestos únicamente por resina poliéster. Debido a que en el primer diseño se empleó una resina poliéster menos reactiva que la RC 01 y en el segundo diseño se utilizó una de mayor reactividad, los resultados obtenidos en este ensayo, en el caso del primer diseño pueden deberse a falta de sitios reactivos por parte de la resina para que el agente entrecruzante reaccione por completo, y en el caso del segundo diseño pudo haber un exceso de puntos activos por parte de la resina lo que puede mejorarse aumentando la relación resinas/agente entrecruzante.

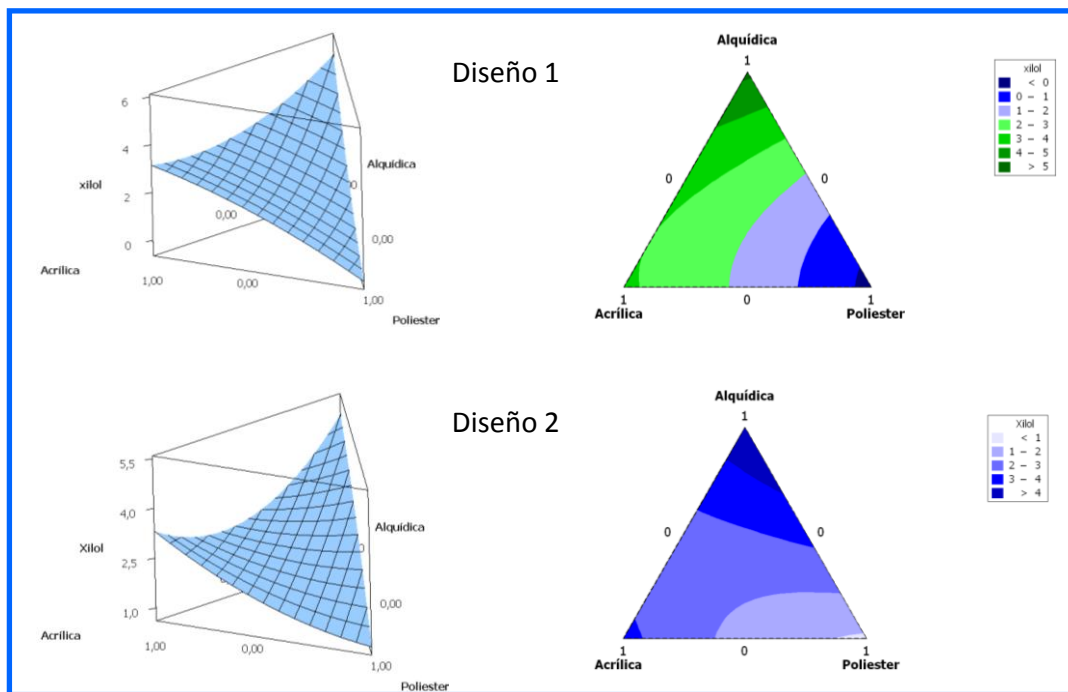


Figura 4.9. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para resistencia al xilol en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

4.3. Selección en base a los resultados de los diseños de experimentos la formulación más adecuada para la satisfacción de las variables críticas de la calidad.

Con los diseños de experimentos realizados no se logró conseguir un piloto que cumpliera con todos los requerimientos exigidos por el cliente, debido a esto fue necesaria la realización de otros pilotos. Como se mencionó anteriormente, en esta investigación, las variables más importantes son las mecánicas, sobre todo aquellas que están relacionadas con la flexibilidad del producto. Sin embargo, debido a que los modelos obtenidos para las variables impacto directo e indirecto, que eran las más críticas, no fue bueno, sólo se analizó el comportamiento de la misma mediante la observación de los resultados obtenidos (en el Apéndice B se muestran todos los resultados para ambos diseños).

Una de las principales razones por las que se decidió incluir la RC 03 en los diseños de experimentos fue el hecho de que esta resina es muy estable en lo que almacenamiento y elaboración de dispersiones se refiere, sin embargo, se observó que con las resinas poliéster utilizadas en la investigación, también se pueden conseguir productos estables a esta condición. Debido al elevado costo que posee la RC 03 y a que se puede conseguir un producto estable con las resinas poliéster, estos nuevos pilotos se decidieron preparar excluyendo dicha resina de la formulación quedando como resinas bases del sistema la RC 01 y la RC 04 ó RC 05 según fuese el caso. Además de lo antes mencionado, los pilotos preparados con mayor proporción de resina acrílica no tuvieron un buen desempeño en cuanto a

resistencia al impacto, lo que justifica también el hecho de excluirla para los próximos pilotos.

Si observamos una vez más la Figura 4.8 correspondiente a los gráficos de superficie de respuesta y de contornos para el impacto directo, si se estudia el lado que une los vértices de alquídica y poliéster, se aprecia que en ambos casos se obtuvieron buenos resultados. En el caso del primer diseño, los mejores valores están hacia el vértice alquídico, mientras que en el segundo diseño es más amplio el rango, por lo que podían realizarse más combinaciones entre la RC 01 y la RC 05

Ahora bien, lo que se necesitaba entonces era una combinación que no presentara una elevación tan marcada de la viscosidad, que ofreciera resistencia al impacto tanto directo como indirecto y que además resistiera al ensayo con xilol. Se tomaron entonces las ecuaciones de los modelos lineales dados por el software para la evaluación del comportamiento de las variables viscosidad, porcentaje del delta de viscosidad, y resistencia al xilol pues dichos modelos presentaron buenos valores de R^2 , se les dio valores entre 0 y 1 con saltos de 0.1 a las variables alquídica y poliéster en las ecuaciones matemáticas de los modelos, con lo que se tendría una idea del comportamiento de mezclas binarias entre estas resinas. Los resultados de esta simulación o predicción se muestran en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Resultados de la predicción con los modelos de los diseños de experimentos.

Composición de resina		RC 04			RC 05		
Alquídica	Poliéster	Viscosidad (s)	% Delta Visc	Xilol	Viscosidad (s)	% Delta Visc	Xilol
0	1	112,33	43,40	0	178,20	57,40	1
0,1	0,9	109,22	70,65	0	165,30	53,75	1
0,2	0,8	106,36	97,32	0	153,29	55,88	2
0,3	0,7	103,78	123,39	1	142,17	63,81	2
0,4	0,6	101,46	148,86	1	131,95	77,54	3
0,5	0,5	99,40	173,75	2	122,63	97,05	3
0,6	0,4	97,61	198,04	2	114,19	122,36	4
0,7	0,3	96,08	221,75	3	106,65	153,45	4
0,8	0,2	94,81	244,86	4	100,01	190,34	4
0,9	0,1	93,82	267,37	4	94,26	233,03	5
1	0	93,08	289,30	5	89,40	281,50	5

En esta tabla, se observa que los incrementos menos marcados de la viscosidad se obtendrían con mezclas en las que la resina poliéster se encuentre en mayor proporción, en especial con la RC 05 empleada en el segundo diseño. Debido a que los menores incrementos pronosticados para la mezcla entre la RC 01 y la RC 04 siguen siendo muy altos aun cuando la RC 04 se encuentre en mayor proporción (resaltados en la Tabla 4.11 en color amarillo), se trabajaron los últimos pilotos sólo con la RC 05. Como se mencionó anteriormente, la RC 05 posee un número ácido mayor que la RC 01, lo que se traduce en que la misma posee más sitios reactivos, por lo que la deficiencia en cuanto a la resistencia al xilol se refiere, puede deberse a

que haya faltado agente entrecruzante en el medio para que la resina formara una mejor película durante el curado.

Por otra parte, en el caso de los resultados de la predicción con la RC 05, los menores incrementos se obtuvieron con las tres primeras mezclas en las que se encontraba en mayor proporción dicha resina. No se resaltó en color verde la fila correspondiente al piloto compuesto sólo por la RC 05 puesto que éste fue probado en el diseño y no se logró cumplir con las especificaciones del cliente. Sin embargo, las dos mezclas siguientes no fueron probadas con el diseño. Para tratar de mejorar la resistencia al xilol de estos pilotos se decidió ahora variar la cantidad de agente entrecruzante y probar las mezclas señaladas en verde en la Tabla 4.11, en el diseño de experimentos se mantuvo la relación RC/RC 02 en 85/15, las nuevas fórmulas se probaron en esta relación y además se aumentó la cantidad de agente entrecruzante para obtener las relaciones 80/20 y 75/25, resultando en total 6 pilotos correspondientes a las dos mezclas mostradas en la Tabla 4.11 cada una a tres relaciones distintas entre las resinas y el agente entrecruzante. Si se observa la Figura 4.8, los gráficos de superficie de respuesta y de contorno correspondientes al diseño en el que se utilizó la RC 05 el lado que corresponde a las mezclas binarias poliéster-alquídica presenta buenos valores para resistencia al impacto.

Los resultados de estos últimos pilotos se muestran en la Tabla 4.12, además de las pruebas realizadas a los pilotos de los diseños de experimentos, a estos pilotos también se les realizó el ensayo de resistencia a la embutición, cuyos resultados también se muestran en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12. Resultados de los pilotos preparados a partir de la predicción con los modelos estadísticos de los diseños de experimentos.

Relación RC/RC02	85/15		80/20		75/25	
Relación RC05/RC01	80/20	90/10	80/20	90/10	80/20	90/10
Viscosidad (s)	194,32	174,99	122,5	127,25	107,7	118,24
% sólidos	69,3964	69,9517	68,3627	70,3648	67,3922	69,9219
Peso/galón (kg/gal)	4,5913	4,5428	4,5224	4,5587	4,4589	4,4974
Delta viscosidad (s)	112,38	75,77	81,51	75,59	68,12	70,23
% Delta Viscosidad	96,97	49,66	59,87	58,82	52,86	53,84
Brillo 60°	89,5	84,5	84,8	87,8	89,8	90,5
Dureza	2H	2H	2H	2H	2H	2H
Impacto Directo	ok	ok	ok	No ok	No ok	No ok
Impacto Indirecto	ok	ok	ok	No ok	No ok	No ok
Adhesión	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Xilol	No ok	No ok	ok	ok	ok	ok
Embutición (mm)	70	70	70	70	65	66

Los valores resaltados en color verde son los que se encuentran dentro de las especificaciones. Casi todos cumplieron con la viscosidad mayor a 110 s, el porcentaje de sólidos y peso por galón no eran propiedades críticas ni tenían un valor mínimo o máximo establecido; en cuanto al delta y el porcentaje del delta de viscosidad tampoco se exigía algo en específico, sólo que el aumento fuese lo más pequeño posible. Todos, salvo el último piloto

cumplieron con lo exigido en cuanto a brillo 60° y en el ensayo de dureza todos cumplieron. En cuanto a las pruebas de impacto y embutición, éstas fueron aprobadas por los pilotos en los que contenían menor cantidad de agente entrecruzante lo cual era de esperarse, ya que cómo se mencionó anteriormente, este componente hace que la película sea más rígida por la cantidad de sitios activos que el mismo posee, dando lugar a mayor formación de enlaces, y haciendo que el sistema pierda flexibilidad y ocurra el quiebre o desprendimiento observado en los pilotos con mayor cantidad de RC 02.

Por otra parte, todos los pilotos cumplieron con el ensayo de adhesión, y al contrario de lo observado en los ensayos de impacto y embutición, los pilotos con mayor cantidad de RC 02 fueron los que tuvieron un buen desempeño en el ensayo de resistencia al xilol. Cómo se observa en la Tabla 4.12, el piloto con el que se logró cumplir todas las exigencias del cliente fue el que tenía una relación entre todas las resinas y el agente entrecruzante de 80/20 respectivamente, y entre las resinas la relación era también 80/20 entre la RC 05 y la RC 01 respectivamente.

Este piloto que logró cumplir con todas las especificaciones, fue cargado nuevamente, lo que es conocido como piloto confirmatorio para poder dar mayor confianza a la selección del mismo. Se realizó la carga y molienda del piloto para la posterior evaluación de todas sus propiedades, sin embargo; no fue realizado el ensayo de resistencia a la embutición debido a que el mismo es realizado por el cliente, el cual se encuentra fuera

del país. Debido a esto, se evaluó el resto de las propiedades del producto. Los resultados del piloto confirmatorio se muestran a continuación en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Resultados del piloto confirmatorio.

Propiedad	Resultado
Viscosidad (s)	118,3
% sólidos	67,9984
Peso/galón (kg/gal)	4,5142
Delta viscosidad (s)	80,24
% Delta Viscosidad	58,73
Brillo 60°	85,4
Dureza	2H
Impacto Directo	ok
Impacto Indirecto	ok
Adhesión	ok
Xilol	ok

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 4.13), los resultados obtenidos para el piloto confirmatorio, fueron similares a los del piloto evaluado anteriormente y en ambos casos se cumple con todas las especificaciones y aunque no se evaluó en el confirmatorio la resistencia a la embutición, debido a que el resto de las propiedades tuvo un comportamiento muy similar al piloto seleccionado, se puede decir que con

dicha fórmula se cumplen con todas las especificaciones, sobre todo porque la resistencia al impacto da una idea de que tan resistente al ensayo de embutición está el producto, y en este caso el piloto presentó una muy buena resistencia al impacto.

4.4. Evaluación de los costos de la nueva formulación considerando solo las materias primas involucradas y comparación con los de la formulación actual.

Para finalizar la investigación, se realizó un estudio comparativo del costo de la fórmula propuesta en este trabajo con respecto al costo de la fórmula del producto actual, tomando en cuenta sólo las materias primas por las que se encuentran compuestos. El producto actual cuenta en su fórmula con la presencia de ciertas dispersiones que no son en sí materias primas sino intermedios, sin embargo; para la comparación se solicitó el costo de cada uno de dichos intermedios y se sumaron al costo de la fórmula actual tratándolos como materias primas.

Por ser de carácter confidencial los costos de las materias primas, se calculó el costo en dólares por kilogramo de la fórmula actual y dicho valor fue llamado A, y el costo de la fórmula desarrollada fue llamado B, se calculó la diferencia entre A y B y dicho valor fue dividido entre A que es el valor de referencia en este caso. Resultó, que la nueva formulación es 34 % más económica que la fórmula actual, sin tomar en cuenta los costos debidos al proceso de elaboración, maquinaria, equipo, tiempo y almacenamiento, los cuales deberían ser evaluados para una comparación más intensa, pero que no era de interés en el caso de esta investigación.

CONCLUSIONES.

- ❖ El tipo de resinas y la relación existente entre ellas en la fórmula afecta la flexibilidad del sistema.

- ❖ Para el estudio del comportamiento de las propiedades del producto se realizaron dos diseños de experimentos de mezcla simple centroide de tres componentes, una resina alquídica, una acrílica y una poliéster distinta en cada diseño.

- ❖ Los pilotos con menores viscosidades en ambos diseños fueron los completamente alquídicos.

- ❖ Los pilotos completamente alquídicos ofrecieron mejor resistencia al xilol en ambos diseños con la relación resinas/agente entrecruzante 85/15.

- ❖ A pesar de que la resina alquídica ofrecía buen desempeño en las propiedades mecánicas, no pueden estar en una alta proporción en la fórmula debido a que, cuando es así, la viscosidad del producto aumenta rápidamente al pasar los días.

- ❖ Con los diseños de experimentos no se logró conseguir una fórmula que cumpliera con todas las especificaciones del cliente.

- ❖ Se eliminó la resina acrílica de la formulación, debido a que con la poliéster RC 05 se logró un sistema estable y la misma tiene un costo menor que la acrílica empleada actualmente.
- ❖ La verificación de los supuestos de los residuos en el primer diseño no resultó satisfactoria para dureza lápiz, impacto directo e indirecto ni adhesión.
- ❖ La verificación de los supuestos de los residuos en el segundo diseño no resultó satisfactoria para viscosidad, peso por galón, dureza, impacto directo e indirecto ni adhesión.
- ❖ Entre la RC 04 y la RC 05, la resina poliéster que ofreció mejor desempeño fue la RC 05.
- ❖ El piloto que cumplió con todas la especificaciones fue el que tenía una relación resinas agente entrecruzante 80/20.
- ❖ La mejor relación entre la resina alquídica y la poliéster (RC 05) fue 20/80.
- ❖ La fórmula desarrollada en la investigación es 34% más económica que la fórmula actual considerando sólo las materias primas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1]. Campos, E. (2010). “*Evaluación de la incorporación de tintas y en un vehículo universal balanceado, para la manufactura de productos epóxicos*”. Universidad de Carabobo. Facultad experimental de Ciencias y tecnología.

[2]. Ochoa, C. Y Dicristanziano, J. (2008). “*Mejora del Proceso Productivo del Producto “Fondo Gris”; Siguiendo La Metodología Seis Sigma*”. Caso: Dupont Performance Coatings De Venezuela, C.A. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.

[3]. Guédez, A. (2008). “*Diseño de dos fórmulas para tintas universales bajo parámetro de aceptación de una empresa de pinturas*”. Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

[4]. Morales, Y. y Lares, M. (2003) “*Optimización del proceso empleado en la dispersión de pigmentos para la elaboración de pinturas de reacabado automotriz*”. Universidad del Zulia. Facultad de ingeniería.

[5]. Brandau, A. (1990). “*Introduction to Coatings Technology*”. 1ra. Edición. Federation of Societies for Coating Technology. USA.

[6]. Berté, A. (2004). “*Temas Básicos de Resinas para Recubrimientos: Escoger el Vehículo Clave del Formulador*”. Revista Inpra latina. Coatings & Corrosion Control for Latin América. Vol. 9.

[7]. Fazenda, J. (2005). *Tintas & Vernizes, Ciencia e Tecnología*. Editora Edgard Blucher. Brasil.

[8]. Turner, G. (1988). “*introduction to paint chemistry and principles of paint technology*”. Tercera edición. Editorial Chapman & Hall.

[9]. Odian, G. (2004). “*Principles of polymerization*”. Cuarta edición. Wiley Interscience. New jersey.

[10]. Calvo, J. (2009). “*Pinturas y recubrimientos. Introducción a su tecnología*”. Asociación Española de Técnicos en Pinturas y Afines.

[11] Gonzalez, M. (2010). *Estudio de las causas que generan la aparición de cráteres en los fondos del sistema original de pintura automotriz en el proceso de producción de la empresa dupont performance coatings de Venezuela*. Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

- [12] Arbeláez, P. y Mejía, C. (2006). “*Sistemas base agua. Características para un dispersante adecuado*”. Revista Inpra latina. Coatings & Corrosion Control for Latin América.. Vol. 11.
- [13] Gutiérrez, H. De la Vara, R. (2004). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. 1era Edición. McGraw-Hill Interamericana. México.
- [14] Pande, P. Neuman, R. Cavanagh, R. (2002). *Las Claves de Seis Sigma*. 1era Edición. McGraw-Hill Interamericana de España. México.
- [15] Pande, P. Neuman, R. Cavanagh, R. (2002). *Las Claves de Seis Sigma*. 1era Edición. McGraw-Hill Interamericana de España. México.
- [16] Montgomery, D. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. Segunda edición. Editorial LIMUSA WILEY. México.
- [17]. Espoz, C. (s.f.). “*Guía práctica para el uso de minitab*”. Universidad Santo Tomás. Departamento de Ciencias Básicas. Artículo de internet disponible en:
http://www.ust.cl/html/cree/asignaturas/material_profesor/material_bioestadis/guiaminitab.pdf
consultado (26/09/2010).
- [18]. Software estadístico Minitab 15.
- [19] Sampieri, R. (2003). *Metodología de la Investigación*. 3era Edición. McGraw-Hill Interamericana. México.

[20] Balestrini, M. (2001). *Como se Elabora el Proyecto de Investigación*. 5ta Edición. Consultores Asociados, Servicio Editorial. Caracas.

[21] Arias, F. (1999). *El proyecto de investigación. Guía para su elaboración*. 3era edición. Editorial Episteme. Caracas.

[22] Calvo, J. (2009). *Pinturas y recubrimientos. Introducción a su tecnología*. Asociación española de técnicos en pinturas y afines.

APÉNDICE A.

DETERMINACION DE LA FINURA EN MUESTRAS DE PINTURA, Y PRODUCTOS PIGMENTADOS.

PROCEDIMIENTO

Consiste en evaluar visualmente el punto donde el producto pigmentado pierde su textura y empiezan a verse semillas, cuando se vierte sobre una barra de acero una cantidad en exceso de la muestra y se rasa con una hoja de acero. El procedimiento es:

1. Seleccionar la barra Hegman con un rango de finura entre 1-1.5 mils.
2. Verificar que la barra este limpia y sin restos de otros materiales.
3. Colocar una cantidad adecuada de la muestra a evaluar en la parte de arriba de la barra, y deslizar la hoja de acero en línea recta por la muestra a una velocidad uniforme y moderada.
4. Inmediatamente chequear la aparición de semillas en un ángulo de 20, 30 y 90°.
5. Realizar la lectura donde se encuentre la mayor cantidad de partículas del producto, es decir, donde se observe una apariencia predominantemente granulosa o no uniforme.

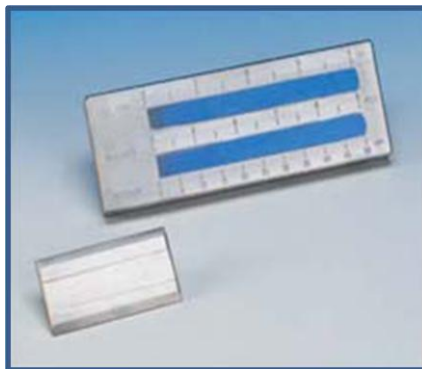


Figura A.1. Barra Hegman para determinar la finura.

VISCOSIDAD COPA FORD #4.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar la etiqueta de calibración, si el equipo está en condiciones para su uso.
2. Chequee el nivel del soporte de la Copa.
3. Agitar hasta homogeneizar la muestra.
4. Filtrar si es necesario.
5. Llevar a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ a menos que se especifique otra temperatura en la fórmula.
6. Tapar con el dedo el orificio inferior de la Copa y vierta la muestra hasta rebozar ligeramente.
7. Enrasar con una espátula para eliminar el exceso y esperar hasta que las burbujas de aire de la superficie desaparezcan.
8. Simultáneamente accionar el cronómetro y quitar el dedo del orificio.
9. Parar el cronómetro cuando el flujo del líquido deje de ser continuo.
10. Reporte el tiempo en segundos hasta que el flujo deje de ser continuo, esto representara la viscosidad en la Copa Ford respectiva según el cliente.
11. Lavar la copa después de cada prueba con solvente de limpieza.
12. Reportar el resultado en segundos.



Figura A.2. Copa Ford # 4.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS POR PESO.

PROCEDIMIENTO

El método consiste en determinar la pérdida de material volátil de una cantidad de muestra, cuando esta es sometida a condiciones definidas de tiempo y temperatura. En este caso se siguieron los siguientes pasos:

1. Verificar que la etiqueta de calibración de los equipos que van a ser usados (hornos, balanzas), si están en condiciones de uso.
2. Homogenizar la muestra a evaluar, siempre tratando de evitar la formación de burbujas.
3. Pesar el platillo de aluminio vacío y registrar el peso como "P1".
4. Transferir al platillo que se encuentra en la balanza la cantidad aproximada de un gramo ($1,0000 \pm 0,0001$) g de muestra del producto a evaluar, y registrar el peso como "P2".
5. Introduzca el platillo con la muestra en el horno a 105°C por un lapso de tiempo de una hora.
6. Al finalizar el tiempo establecido para el ensayo, retire el platillo del horno e introdúzcalo en el desecador por un tiempo prudencial.
7. Pesar el platillo con la muestra seca. Registrar el peso como "P3".

8. Realizar el ensayo por duplicado.
9. Determinar el porcentaje de sólidos mediante la siguiente ecuación:

$$\%Si = ((P3 - P1)/P2) * 100 \text{ Ec.1}$$

DETERMINACIÓN DEL PESO POR GALÓN DE LA MUESTRA LÍQUIDA.

PROCEDIMIENTO

El método consiste en la pesada directa de un volumen conocido de producto, a una temperatura dada, con un picnómetro de acero inoxidable. Para la realización de la experiencia se siguen los siguientes pasos:

1. Verificar que la temperatura del producto al que se le va a realizar la medición se encuentre en $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$.
2. Pesar el picnómetro metálico vacío en la balanza y anotar el peso obtenido (P1).
3. Llenar completamente el picnómetro metálico con el producto. Asegurarse que la muestra no presente burbujas y/o aire atrapado.
4. Colocar la tapa y eliminar el material en exceso a través del orificio de la misma.
5. Limpiar el exterior del picnómetro.
6. Pesar el picnómetro metálico lleno con el producto y anotar el peso (P2).
7. Determinar el peso por galón (en Kg/gal) de la muestra mediante la fórmula mostrada a continuación:

$$PG \text{ (Kg/gal)} = ((P2 - P1) / 10) * 0,4536 \text{ Ec.1}$$

Donde:

P1 = Peso de la copa vacía (g)

P2 = Peso copa llena (g)

8. Reportar el resultado en Kilogramos/galón (Kg/gal.)



Figura A.3. Picnómetro.

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE BRILLO.

PROCEDIMIENTO

1. Encender el equipo GLOSSMETER, automáticamente el hará una prueba de auto diagnóstico. Al completar la prueba de auto diagnóstico se activará el último modo que se ejecutó antes de desconectar la unidad.
2. Oprima el botón del ángulo con el que se van a realizar las mediciones, en este caso 60° y observe si el valor que aparece en la pantalla corresponde con el valor seleccionado, en caso contrario ajuste el botón correspondiente a éste ángulo.
3. Seleccionar un área de la lámina limpia y de apariencia uniforme, para efectuar las mediciones.

4. Colocar la lámina a evaluar en el soporte del instrumento, verificando que la luz incida sobre el área seleccionada anteriormente.
5. Elevar el soporte hasta que la lámina haga contacto con la parte superior del instrumento, asegurándose que no exista dispersión de la luz.
6. Presionar el botón Sample/Statistic para que automáticamente en pantalla muestre el valor del brillo de la película de la muestra en evaluación.
7. Reportar el valor del paso anterior, como el brillo de la película de la muestra en estudio a 60° .
8. Realizar el ensayo por duplicado y reportar el promedio de las lecturas realizadas
9. Borrar la información que aparece en la pantalla presionando el botón *Delete*, y luego el botón Results.
10. Apagar el equipo.



Figura A.4. Medidor de brillo.

RESISTENCIA AL IMPACTO.

PROCEDIMIENTO.

1. Colocar el equipo sobre una base fija, plana y rígida.
2. Elevar la pesa de acero levantando la espiga (el tornillo) que se extiende desde la varilla a través de la ranura del tubo.
3. Con una mano, se sostiene horizontalmente el panel y con la otra la varilla es elevada hasta que la espiga (el tornillo) coincida con la graduación marcada en la escala de la derecha hasta alcanzar el valor especificado por el cliente (80 plg).
4. Dejar caer la pesa.
5. Observar si la película de pintura presenta o no desconchamiento y reportar los datos obtenidos.



Figura A.5. Equipo para la evaluación de la resistencia al impacto.

DUREZA LÁPIZ

PROCEDIMIENTO.

1. Remover 3 mm de la corteza de madera de los lápices
2. Luego con el lápiz en forma vertical con respecto a la superficie deslizar de un lado a otro sobre papel de lija según especificación del cliente, hasta hacer llana la punta del mismo.

3. Tomar el lápiz de mayor dureza en un ángulo de 45 grado con respecto a la superficie de la película de pintura deslice firmemente con la mano en forma de zigzag.
4. Realizar el proceso durante cuatro segundos si la cantidad de raya o marca dejadas por el lápiz es mayor de dos siga un orden descendente de dureza de la serie de lápiz, hasta conseguir uno que no raye más de dos veces.



Figura A.6 Lápices para la evaluación de dureza.

ADHESIÓN.

PROCEDIMIENTO.

1. Trazar once cortes paralelos sobre la película aplicada.
2. Trazar un ángulo recto otra banda con once cortes, de tal modo que se forme una rejilla con 100 cuadros.
3. Los cortes deben trazarse en forma uniforme (no alternada), todos los cortes deben llegar hasta el sustrato (sin excepción).
4. Colocar sobre la cuadrícula, la cinta adhesiva aplicando una ligera presión con el dedo, luego se debe desprender con un movimiento fuerte, aproximadamente con un ángulo de 30° con respecto al sustrato.



Figura A.7. Equipo para prueba de adhesión.

RESISTENCIA AL XILOL.

PROCEDIMIENTO.

1. Aplicar producto en una lámina de acero.
2. Empapar una sonda con xileno y frotar la lámina 10 veces.
3. Evaluar la pérdida de brillo luego de realizar los frotos.

APÉNDICE B

Resultados de las variables de respuesta en ambos diseños.

Diseño 1

Tabla B.1. Resultados de el diseño de experimento de mezcla con la RC 04.

Orden Est	Orden Corrida	RC 01	RC 03	RC 04	Viscosidad (s)	% sólidos	Peso/galón (kg/Gal)	Delta visc (s)	% Delta visc	Brillo 60	Dureza	Imp. D	Imp. I	Adhesión	Xilol
11	1	1,00	0,00	0,00	89,13	58,5053	4,3986	251,33	281,98	79,3	2	4	2	5	5
4	2	0,50	0,50	0,00	130,29	60,825	4,4634	62,16	60,1	72	2	2	1	4	3
10	3	0,17	0,17	0,67	116,27	67,2926	4,5469	87,22	83,89	86,5	1	4	2	3	0
7	4	0,33	0,33	0,33	143,16	64,7257	4,4407	111,46	106,55	84,3	2	4	2	5	2
8	5	0,67	0,17	0,17	121,68	62,0447	4,4589	184,07	185,68	78,1	2	5	4	5	4
14	6	0,50	0,50	0,00	131,89	61,0201	4,4724	65,73	61,82	71,3	2	2	1	4	3
6	7	0,00	0,50	0,50	161,9	66,903	4,5623	62,75	62,56	82,5	1	2	2	3	2
12	8	0,00	1,00	0,00	229,61	64,9312	4,5224	13,77	17,26	75,7	2	3	1	2	3
5	9	0,50	0,00	0,50	89,11	64,4829	4,5179	150,14	168,49	81,7	1	3	2	3	2
17	10	0,33	0,33	0,33	142,29	63,9832	4,4396	110,97	107,65	83,9	2	4	2	5	2
15	11	0,50	0,00	0,50	88,75	64,2152	4,5206	153,07	165,98	82	1	3	2	3	2
1	12	1,00	0,00	0,00	88,05	58,5183	4,3842	256,34	291,13	78,7	2	4	2	5	5
2	13	0,00	1,00	0,00	225,32	63,7524	4,5197	14,92	15,21	76,0	2	3	1	2	3
20	14	0,17	0,17	0,67	118,46	65,8246	4,5397	88,02	82,75	85,9	1	4	2	3	0
3	15	0,00	0,00	1,00	114,42	71,4004	4,6585	42,77	46,56	87,5	1	1	1	5	0
9	16	0,17	0,67	0,17	147,32	63,8049	4,4861	31,1	34,83	78,9	2	4	1	3	3
18	17	0,67	0,17	0,17	122,34	63,2564	4,4702	183,25	181,24	78,8	2	5	4	5	4
13	18	0,00	0,00	1,00	113,75	70,9886	4,6581	41,08	45,92	86,9	1	4	2	3	0
19	19	0,17	0,67	0,17	146,98	62,9982	4,4682	30,24	36,79	77,2	2	4	1	3	3
16	20	0,00	0,50	0,50	158,75	64,8231	4,5883	62,34	62,98	82,8	1	2	2	3	2

Tabla B.2. Regresión para mezclas: Sólidos por peso Vs. RC01, RC03,RC04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	58,792	0,5897	*	*	1,964	R-cuad. 95,07%
	Acrílica	64,159	0,5897	*	*	1,964	
	Poliéster	70,938	0,5897	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 90,52%
	Alq* Acríl	0,012	2,7178	0	0,997	1,982	
	Alq*Poli	-0,134	2,7178	-0,05	0,961	1,982	R-cuad. (ajust) 92,31%
	Acríl*Poli	-6,664	2,7178	-2,45	0,028	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	201,85	201,8	40,37	53,99	0
	Lineal	2	197,35	163	81,51	109	0
	Cuadrática	3	4,496	4,496	1,499	2	0,16
	Error residual	14	10,468	10,47	0,748		
	Falta de ajuste	4	5,057	5,057	1,264	2,34	0,126
	Error puro	10	5,41	5,41	0,541		
	Total	19	212,31				

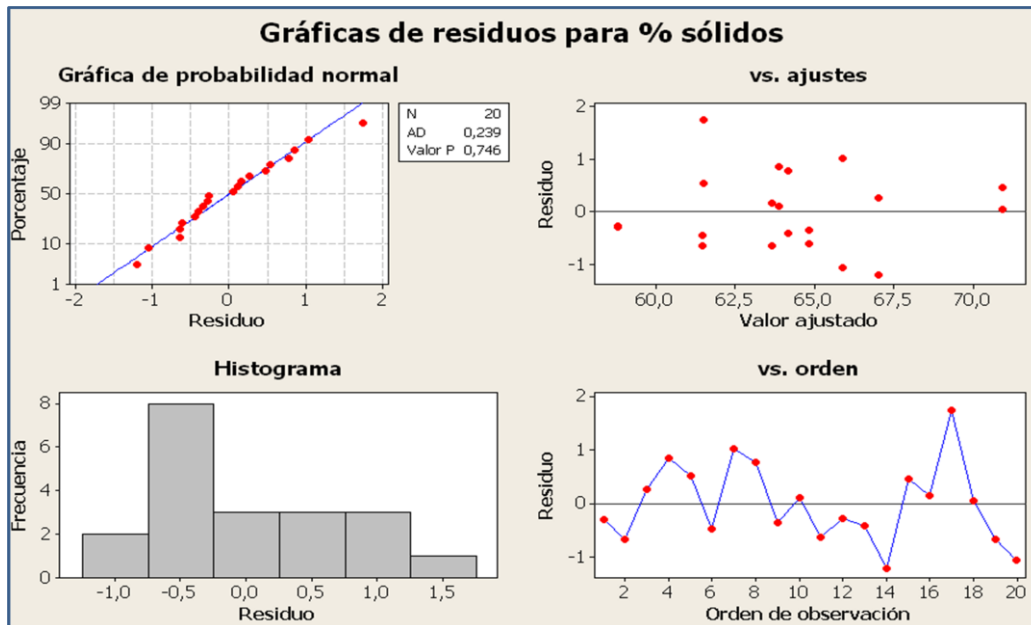


Figura B.1. Gráficos de residuos para sólidos por peso.

Tabla B.3. Regresión para mezclas: Peso por galón Vs. RC01,RC03,RC04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	4,4053	0,0192	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	4,5215	0,0192	*	*	1,964	89,26%
	Poliéster	4,6596	0,0192	*	*	1,964	R-cuad. (pred.)
	Alq*Acríl	-0,06	0,0885	-0,67	0,511	1,982	80,43%
	Alq*Poli	-0,127	0,0885	-1,44	0,173	1,982	R-cuad. (ajust)
	Acríl*Poli	-0,189	0,0885	-2,14	0,051	1,982	85,42%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	0,0922	0,092	0,018	23,27	0
	Lineal	2	0,0866	0,071	0,036	45,02	0
	Cuadrática	3	0,0056	0,006	0,002	2,34	0,118
	Error residual	14	0,0111	0,011	8E-04		
	Falta de ajuste	4	0,0104	0,01	0,003	34,97	0
	Error puro	10	0,0007	7E-04	7E-05		
Total	19	0,1033					

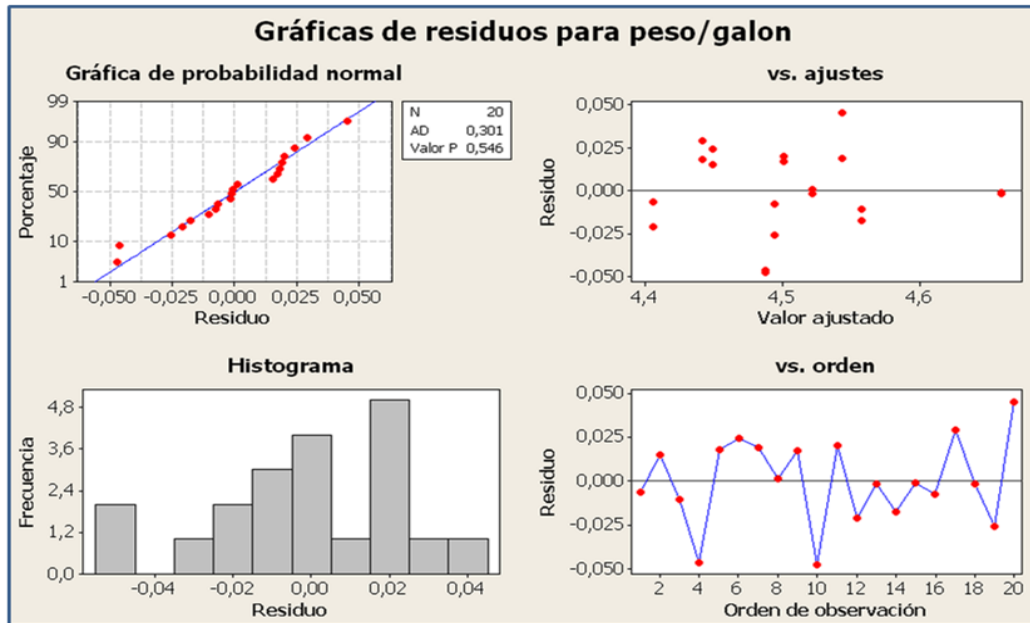


Figura B.2. Gráficos de residuos para peso por galón.

Tabla B.4. Regresión para mezclas: Delta de viscosidad Vs. RC 01, RC 03 y RC 04

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	258,7	8,54	*	*	1,964	R-cuad. 97,88%
	Acrílica	7,3	8,54	*	*	1,964	
	Poliéster	39,9	8,54	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 96,38%
	Alq*Acríl	-246,7	39,361	-6,27	0	1,982	
	Alq*Poli	58,9	39,361	1,5	0,157	1,982	R-cuad. (ajust) 97,13%
	Acríl*Poli	157,9	39,361	4,01	0,001	1,982	
	Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F
Regresión		5	101481	1E+05	20296,2	129,4	0
Lineal		2	92389	82188	41094	262	0
Cuadrática		3	9092	9092	3030,6	19,32	0
Error residual		14	2196	2196	156,8		
Falta de ajuste		4	2169	2169	542,3	204,4	0
Error puro		10	27	26,5	2,7		
Total		19	103677				

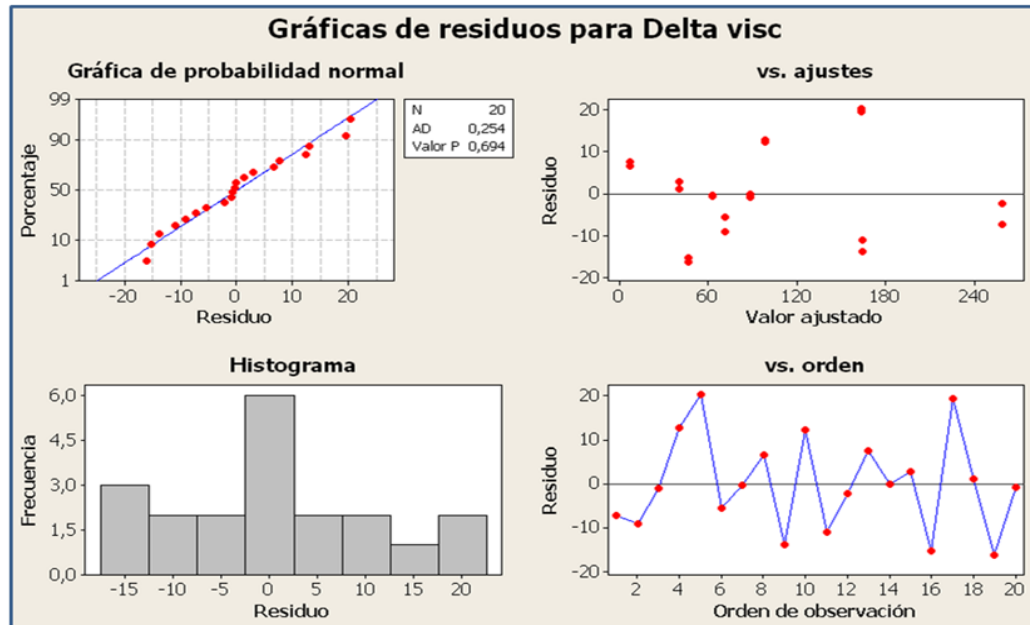


Figura B.3. Gráficos de residuos para delta de viscosidad.

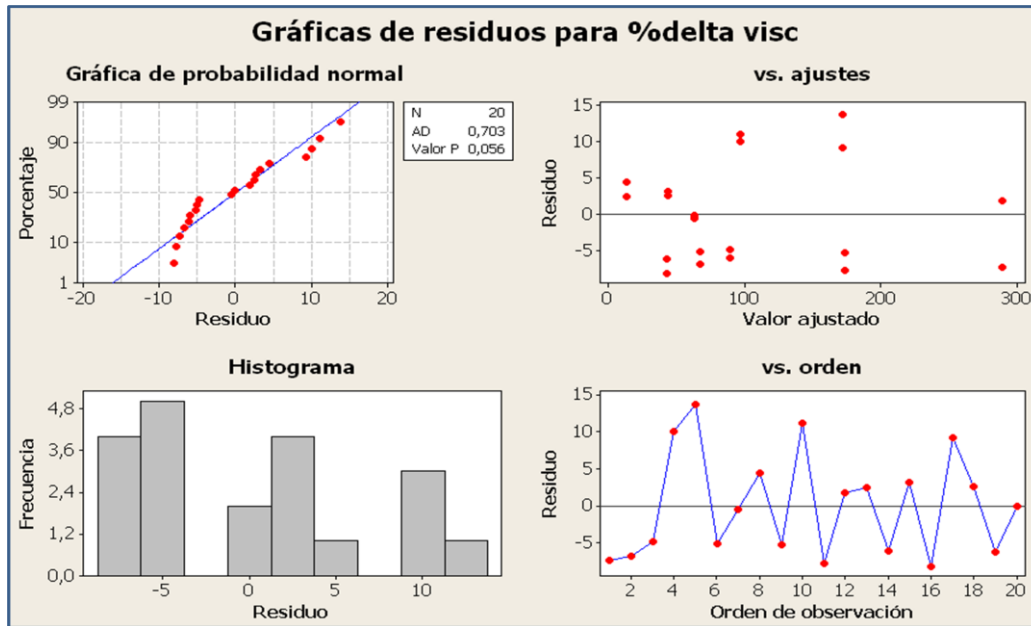


Figura B.4. Gráficos de residuos para porcentaje del delta de viscosidad.

Tabla B.5. Regresión para mezclas: Brillo 60º Vs. RC 01,RC 03, RC 04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	78,46	1,29	*	*	1,964	R-cuad. 88,09%
	Acrílica	75,42	1,29	*	*	1,964	
	Poliéster	87,03	1,29	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 77,70%
	Alq*Acríl	-	5,946	-2,45	0,028	1,982	
	Alq*Poli	4,06	5,946	0,68	0,506	1,982	R-cuad. (ajust) 83,84%
	Acríl*Poli	13,75	5,946	2,31	0,037	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	370,77	370,8	74,15	20,72	0
	Lineal	2	328,17	159,4	79,68	22,26	0
	Cuadrática	3	42,598	42,6	14,2	3,97	0,031
	Error residual	14	50,109	50,11	3,579		
	Falta de ajuste	4	47,413	47,41	11,85	43,96	0
	Error puro	10	2,696	2,696	0,27		
	Total	19	420,88				

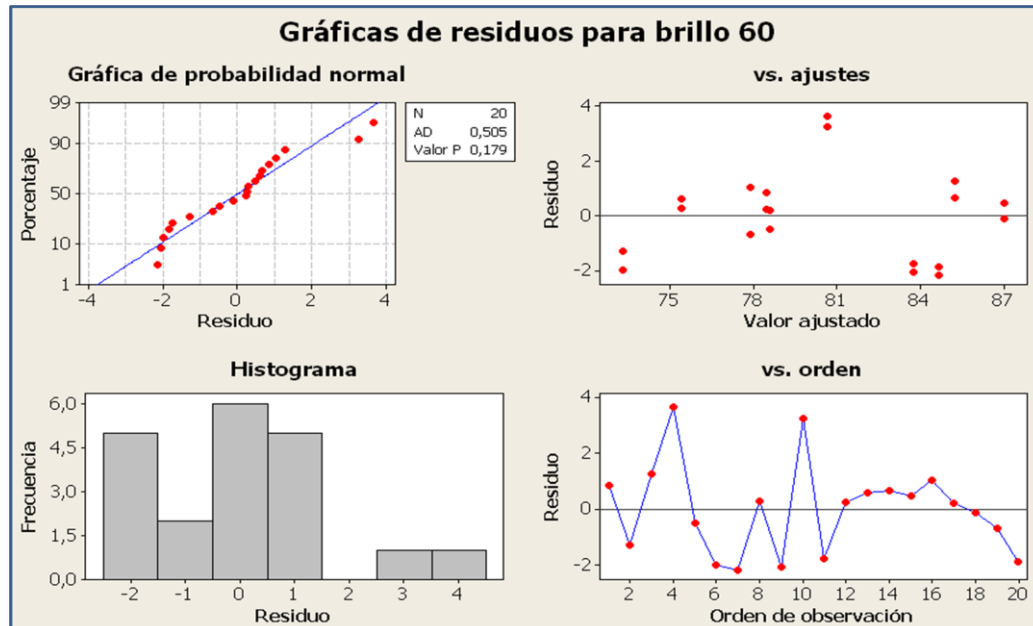


Figura B.5. Gráficos de residuos para brillo 60°.

Tabla B.6. Regresión para mezclas: Dureza Vs. RC 01, RC 03, RC 04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	1,984	0,1746	*	*	1,964	R-cuad. 80,89%
	Acrílica	1,984	0,1746	*	*	1,964	
	Poliéster	0,8931	0,1746	*	*	1,964	R-cuad. (pred.)
	Alq*Acríl	1,3434	0,8046	1,67	0,117	1,982	63,62%
	Alq*Poli	-0,838	0,8046	-1,04	0,315	1,982	R-cuad. (ajust) 74,06%
	Acríl*Poli	-0,838	0,8046	-1,04	0,315	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	3,8825	3,882	0,776	11,85	0
	Lineal	2	3,5556	1,745	0,873	13,32	0,001
	Cuadrática	3	0,3269	0,327	0,109	1,66	0,22
	Error residual	14	0,9175	0,918	0,066		
	Falta de ajuste	4	0,9175	0,918	0,229	*	*
	Error puro	10	0	0	0		
Total	19	4,8					

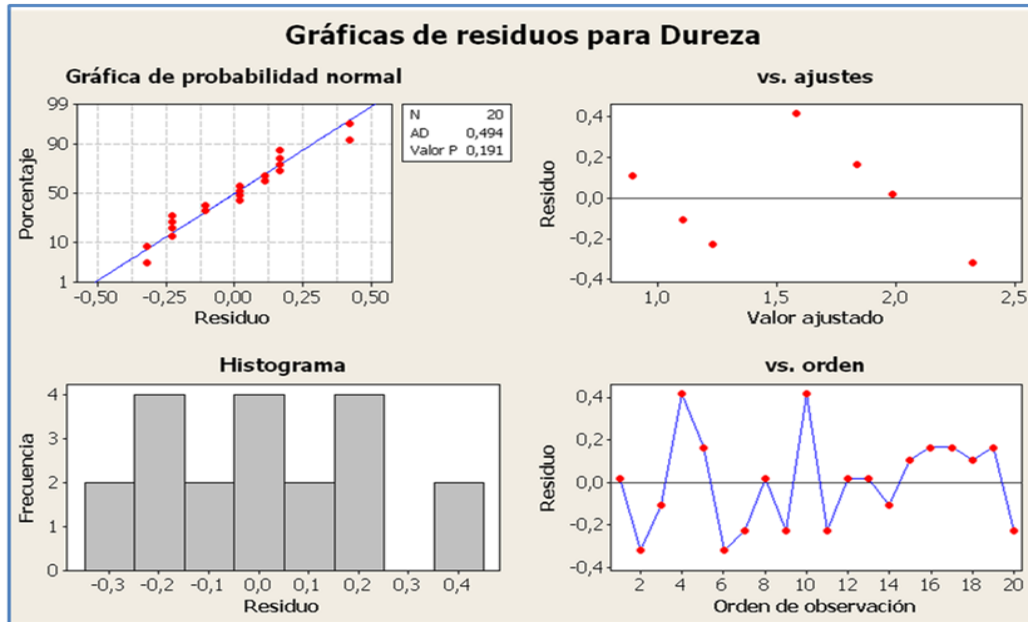


Figura B.6. Gráficas de residuos para Dureza lápiz.

Tabla B.7. Regresión para mezclas: Impacto indirecto Vs. RC 01, RC 03 y RC 04

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquílica	2,4533	0,5298	*	*	1,964	R-cuad. 41,92%
	Acrílica	0,726	0,5298	*	*	1,964	
	Poliéster	1,3624	0,5298	*	*	1,964	R-cuad. (pred.)
	Alq*Acríl	-0,53	2,4419	-0,22	0,831	1,982	0,00%
	Alq*Poli	2,7424	2,4419	1,12	0,28	1,982	R-cuad. (ajust) 21,18%
	Acríl*Poli	3,2879	2,4419	1,35	0,2	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	6,0992	6,099	1,21985	2,02	0,138
	Lineal	2	4,2222	3,358	1,67879	2,78	0,096
	Cuadrática	3	1,877	1,877	0,62567	1,04	0,407
	Error residual	14	8,4508	8,451	0,60363		
	Falta de ajuste	4	7,9508	7,951	1,98769	39,75	0
	Error puro	10	0,5	0,5	0,05		
	Total	19	14,55				

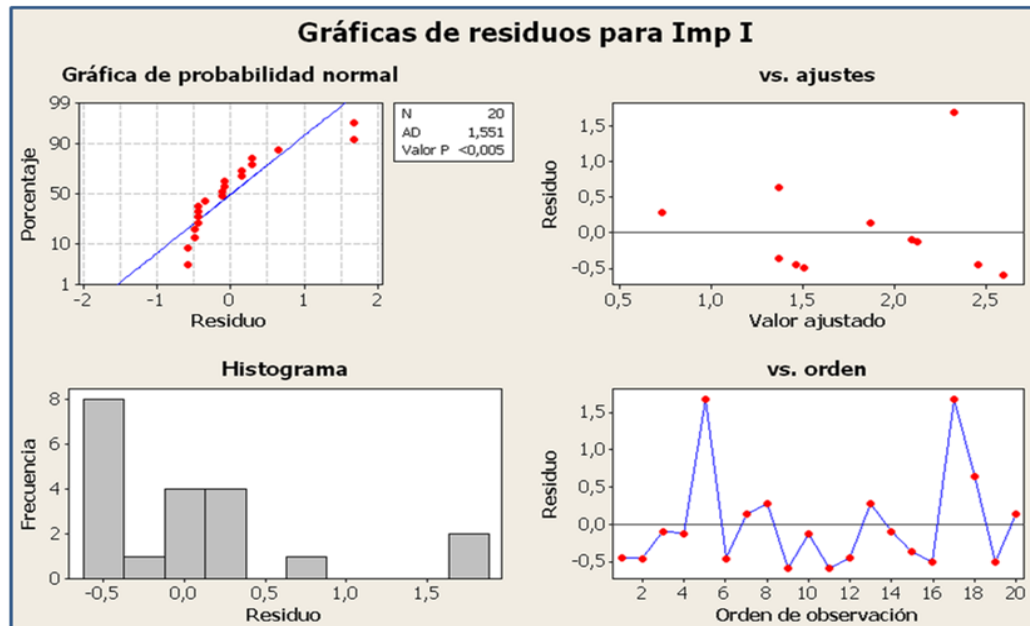


Figura B.7. Gráficos de residuos para impacto indirecto.

Tabla B.8 Regresión para mezclas: Adhesión Vs. RC 01, RC 03, RC 04.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	5,082	0,5004	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	1,81	0,5004	*	*	1,964	66,04%
	Poliester	3,719	0,5004	*	*	1,964	R-cuad.
	Alq*Acríl	4,525	2,3064	1,96	0,07	1,982	(pred.) 26,88%
	Alq*Poli	-	2,3064	-1,59	0,135	1,982	R-cuad.
	Acríl*Poli	1,798	2,3064	0,78	0,449	1,982	(ajust) 53,91%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	14,661	14,66	2,932	5,45	0,005
	Lineal	2	10,889	11,89	5,946	11,04	0,001
	Cuadrática	3	3,772	3,772	1,258	2,34	0,118
	Error residual	14	7,539	7,539	0,539		
	Falta de ajuste	4	5,539	5,539	1,385	6,92	0,006
	Error puro	10	2	2	0,2		
	Total	19	22,2				

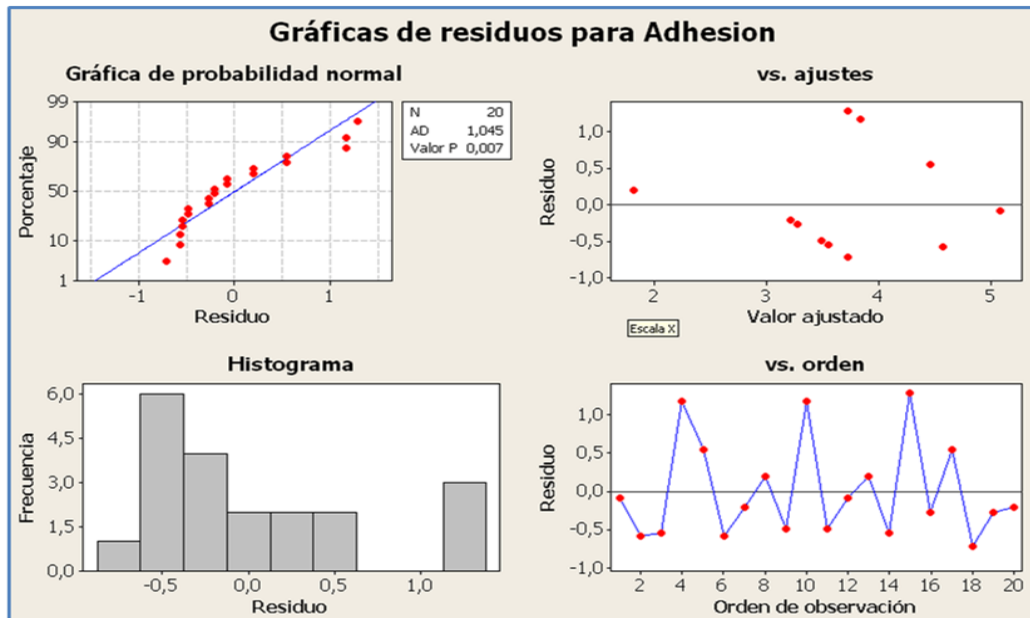


Figura B.8. Gráficos de residuos para adhesión.

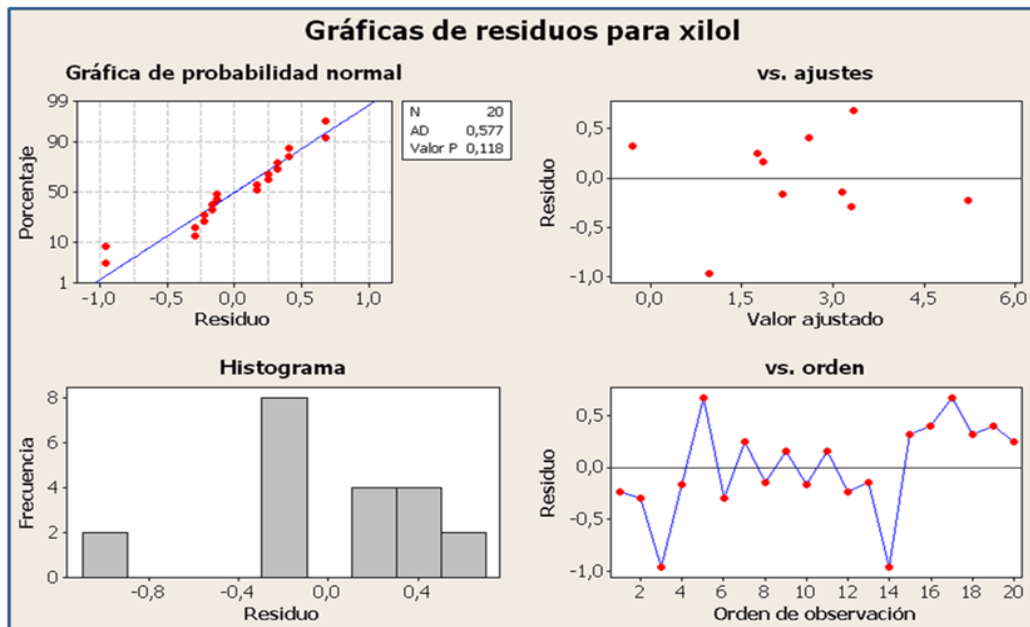


Figura B.9. Gráficos de residuos para Resistencia al Xilol

Diseño 2

Tabla B.9. Resultados del diseño de experimentos de mezcla con la RC 05.

Orden Est	Orden Corrida	RC 01	RC 03	RC 05	Viscosidad (s)	% sólidos	peso/galon (kg/Gal)	Delta visc (s)	% Delta visc	brillo 60	Dureza	Imp D	Imp I	Adhesion	X101
2	1	0,00	1,00	0,00	223,92	64,6453	4,5476	9,78	14,13	77,7	2	3	1	2	3
18	2	0,67	0,17	0,17	117,3	60,4924	4,4407	89,71	111,65	81,5	1	4	3	5	3
14	3	0,50	0,50	0,00	132,89	61,7089	4,4609	52,04	60,94	71,2	2	2	2	4	3
8	4	0,67	0,17	0,17	118,24	60,7824	4,4532	89,05	112,67	80,9	1	4	3	5	3
20	5	0,17	0,17	0,67	162,28	67,7289	4,5632	71,96	70,5	82,6	1	4	4	5	1
19	6	0,17	0,67	0,17	206,37	65,0557	4,4997	23,53	23,34	79	2	5	3	4	3
4	7	0,50	0,50	0,00	134,98	60,8563	4,462	51,99	60,35	70,9	2	2	2	5	3
5	8	0,50	0,00	0,50	125,55	65,6212	4,5451	82,33	96,76	81	2	4	4	5	4
13	9	0,00	0,00	1,00	177,51	71,6654	4,604	46,75	49,65	87,8	1	4	4	5	1
11	10	1,00	0,00	0,00	88,05	59,61	4,3971	243,53	291,24	78,7	2	5	3	5	5
15	11	0,50	0,00	0,50	124,65	65,0192	4,5368	80,67	95,68	82,5	2	4	4	5	4
10	12	0,17	0,17	0,67	161,85	66,8546	4,5239	72,98	70,3	82,4	1	4	4	5	1
1	13	1,00	0,00	0,00	89,01	58,72	4,3935	243,87	282,73	78,6	2	5	3	5	5
3	14	0,00	0,00	1,00	175,97	70,9862	4,6152	42,98	52,64	87,9	1	4	4	5	1
7	15	0,33	0,33	0,33	107,02	62,6752	4,4743	52,96	48	81,2	1	4	3	3	2
12	16	0,00	1,00	0,00	221,65	63,8462	4,3899	11,25	13,06	78,9	2	3	2	2	3
16	17	0,00	0,50	0,50	172,21	67,1792	4,551	40,28	42,22	83,1	1	4	2	4	2
17	18	0,33	0,33	0,33	108,95	61,5692	4,4802	51,06	47,35	80,9	1	4	3	3	2
9	19	0,17	0,67	0,17	201,86	65,4201	4,4835	25,67	21,95	78,6	2	5	3	4	3
6	20	0,00	0,50	0,50	170,99	66,8553	4,5297	42,03	41,99	82,9	1	4	2	4	2

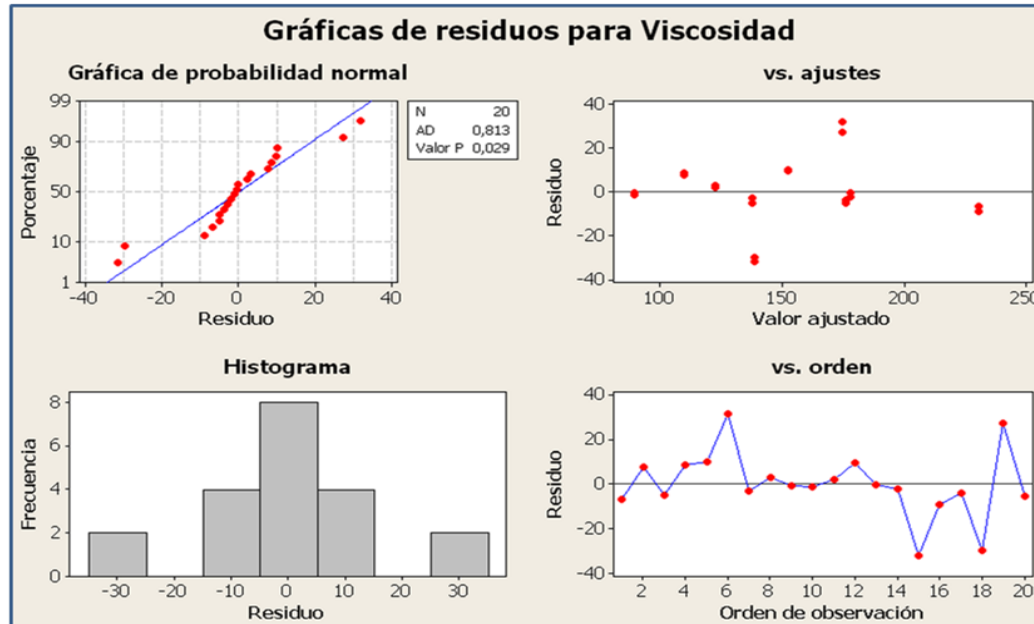


Figura B.10. Gráficos de residuos para viscosidad.

Tabla B.10. Regresión para mezclas: Sólidos por peso Vs. RC01, RC03, RC05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	59,072	0,698	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	64,792	0,698	*	*	1,964	94,02%
	Poliéster	71,421	0,698	*	*	1,964	R-cuad.
	Alq*Acríl	-4,011	3,2169	-1,25	0,233	1,982	(pred.)
	Alq*Poli	-2,922	3,2169	-0,91	0,379	1,982	R-cuad.
	Acríl*Poli	-5,018	3,2169	-1,56	0,141	1,982	(ajust)
							91,88%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	230,4	230,4	46,08	43,99	0
	Lineal	2	225,41	168	84,02	80,21	0
	Cuadrática	3	4,985	4,985	1,662	1,59	0,237
	Error residual	14	14,666	14,67	1,048		
	Falta de ajuste	4	12,02	12,02	3,005	11,36	0,001
	Error puro	10	2,645	2,645	0,265		
	Total	19	245,06				

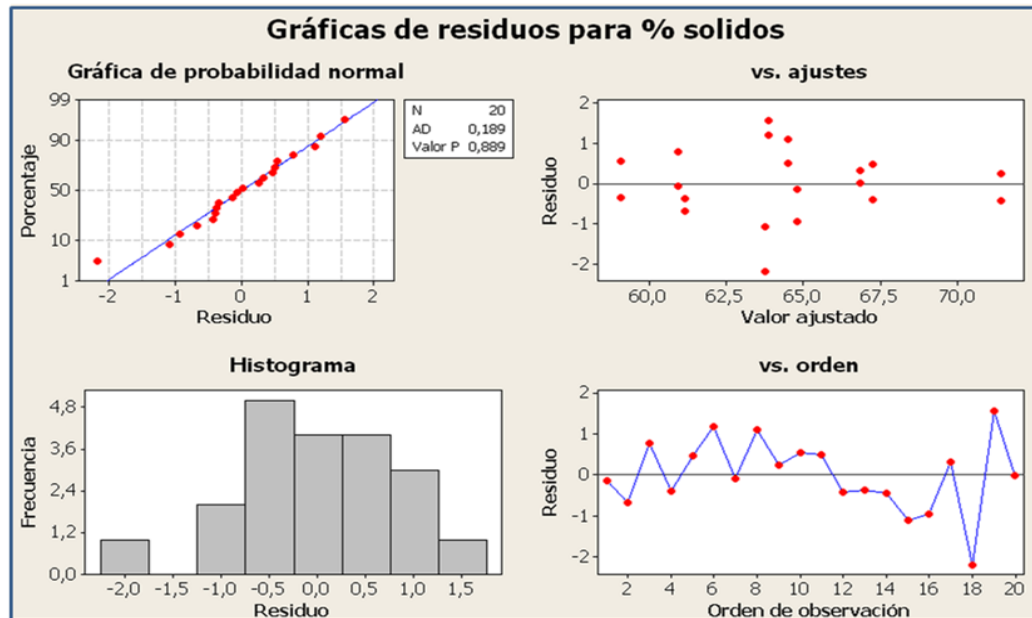


Figura B.11. Gráficos de residuos para sólidos por peso.

Tabla B.11. Regresión para mezclas: Peso por galón Vs. RC01,RC03,RC05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquílica	4,3962	0,0237	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	4,4752	0,0237	*	*	1,964	79,29%
	Poliéster	4,6101	0,0237	*	*	1,964	R-cuad.
	Alq*Acríl	0,0502	0,1093	0,46	0,653	1,982	(pred.) 36,73%
	Alq*Poli	0,0748	0,1093	0,68	0,505	1,982	R-cuad.
	Acríl*Poli	-0,063	0,1093	-0,58	0,571	1,982	(ajust) 71,89%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	0,0648	0,065	0,013	10,72	0
	Lineal	2	0,0636	0,052	0,026	21,3	0
	Cuadrática	3	0,0012	0,001	4E-04	0,34	0,797
	Error residual	14	0,0169	0,017	0,001		
	Falta de ajuste	4	0,0032	0,003	8E-04	0,57	0,687
	Error puro	10	0,0138	0,014	0,001		
Total	19	0,0817					

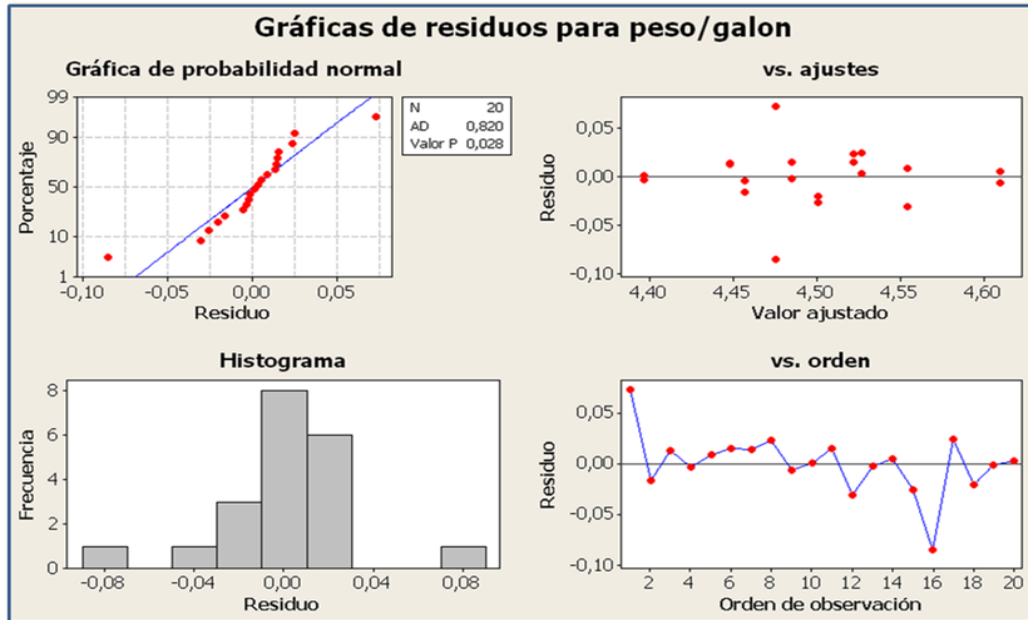


Figura B.12. Gráficos de residuos para peso por galón.

Tabla B.12. Regresión para mezclas: Delta de viscosidad Vs. RC 01, RC 03, RC 05

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R	
	Alquídica	236,1	8,923	*	*	1,964	R-cuad. 96,88%	
	Acrílica	10,1	8,923	*	*	1,964		
	Poliester	51,7	8,923	*	*	1,964	R-cuad. (pred.) 94,89%	
	Alq*Acríl	-302	41,126	-7,34	0	1,982		
	Alq*Poli	-	238,2	41,126	-5,79	0	1,982	R-cuad. (ajust) 95,76%
	Acríl*Poli	81,1	41,126	1,97	0,069	1,982		
	Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión		5	74382	74382	14876,3	86,89	0	
Lineal		2	58771	63652	31825,8	185,9	0	
Cuadrática		3	15611	15611	5203,6	30,39	0	
Error residual		14	2396,9	2397	171,2			
Falta de ajuste		4	2380,9	2381	595,2	372,3	0	
Error puro		10	16	16	1,6			
Total	19	76779						

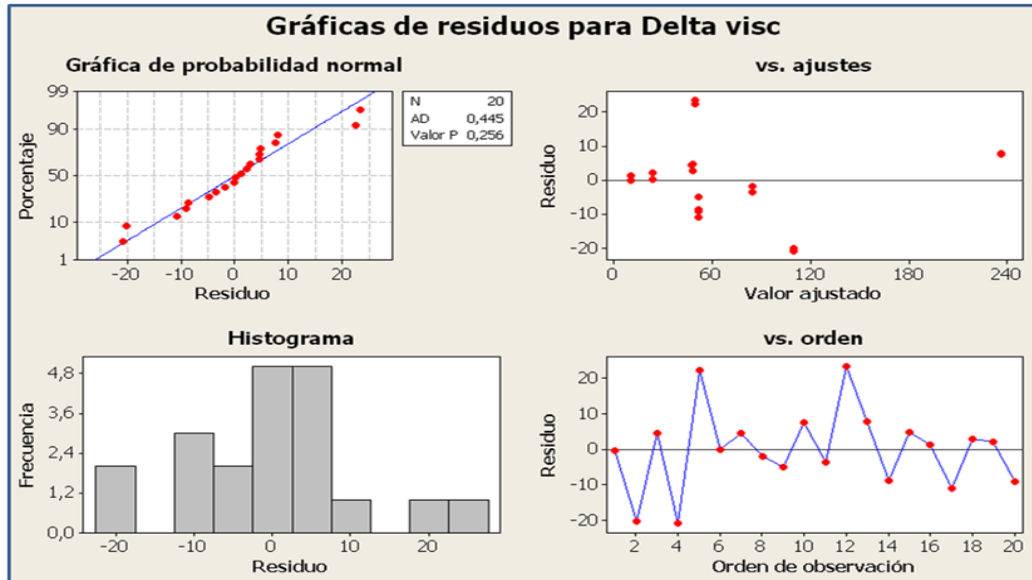


Figura B.13. Gráficos de residuos para delta de viscosidad.

Tabla B.13. Regresión para mezclas: Porcentaje de delta de viscosidad Vs. RC 01, RC 03, RC 05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídic	281,5	7,267	*	*	1,964	R-cuad. 98,57%
	Acrílico	13,5	7,267	*	*	1,964	
	Poliéster	57,4	7,267	*	*	1,964	
	Alq*Acríl	369,6	33,493	-11,03	0	1,982	R-cuad. (pred.) 97,63%
	Alq*Poli	289,6	33,493	-8,65	0	1,982	R-cuad. (ajust)98,06%
	Acríl*Poli	51,4	33,493	1,54	0,147	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	109691	1E+05	21938,2	193,2	0
	Lineal	2	87197	90928	45463,8	400,4	0
	Cuadrática	3	22494	22494	7498,1	66,03	0
	Error residual	14	1590	1590	113,6		
	Falta de ajuste	4	1546	1546	386,5	88,33	0
	Error puro	10	44	43,8	4,4		
Total	19	111281					

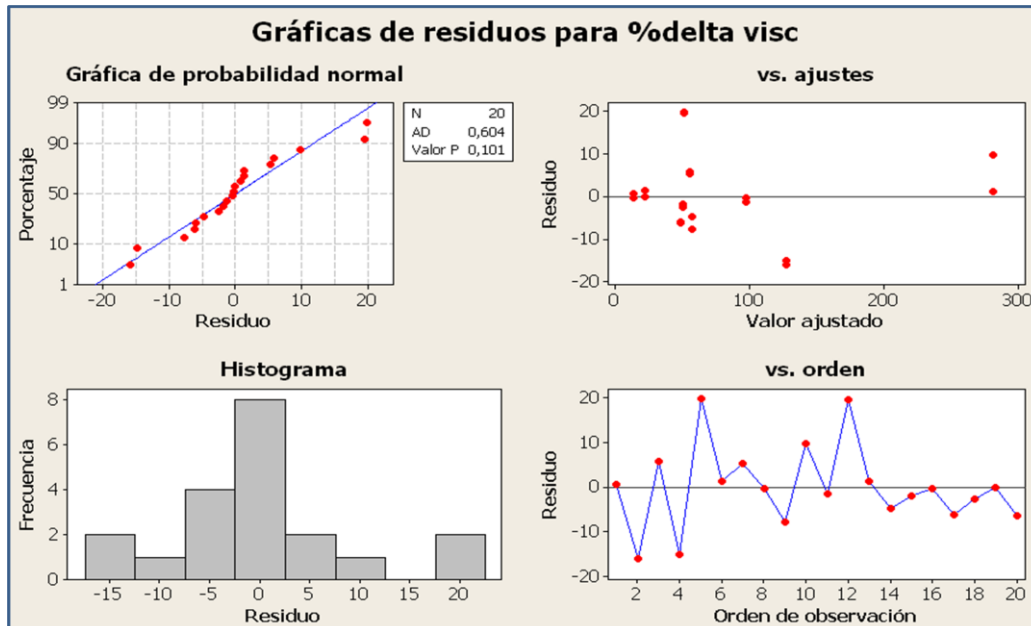


Figura B.14. Gráficos de residuos para porcentaje de delta de viscosidad.

Tabla B.14. Regresión para mezclas: Brillo 60º Vs. RC 01,RC 03, RC 05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	79,25	1,29	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	78,17	1,29	*	*	1,964	85,11%
	Poliéster	86,89	1,29	*	*	1,964	R-cuad.
	Alq*Acríl	21,67	5,943	-3,65	0,003	1,982	(pred.) 72,62%
	Alq*Poli	0,36	5,943	0,06	0,952	1,982	R-cuad.
	Acríl*Poli	4,59	5,943	0,77	0,453	1,982	(ajust) 79,80%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	286,2	286,2	57,24	16,01	0
	Lineal	2	236,38	99,32	49,66	13,89	0
	Cuadrática	3	49,826	49,83	16,61	4,64	0,019
	Error residual	14	50,062	50,06	3,576		
	Falta de ajuste	4	47,817	47,82	11,95	53,25	0
	Error puro	10	2,245	2,245	0,225		
Total	19	336,27					

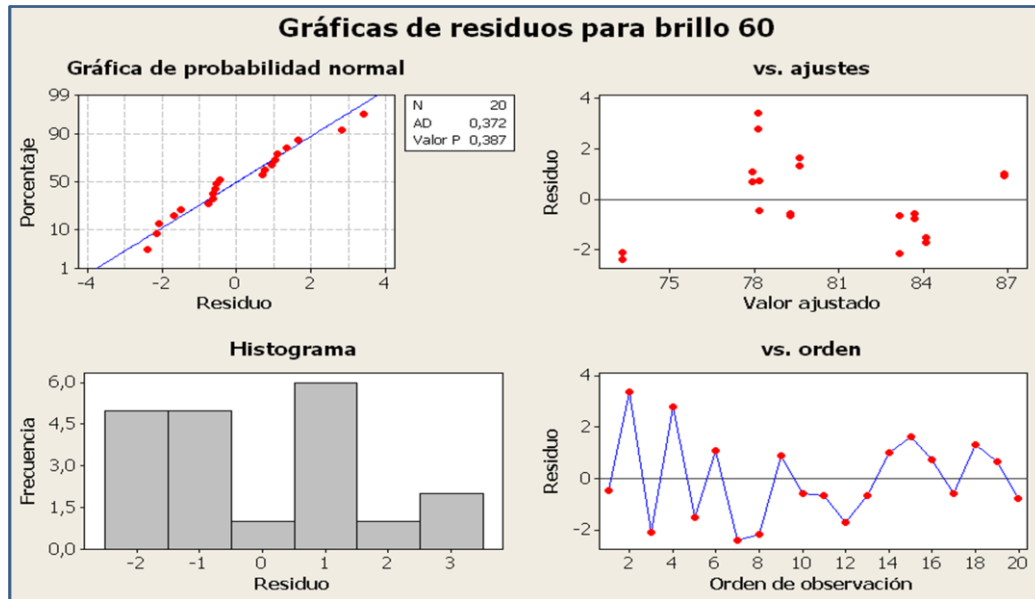


Figura B.15. Gráficos de residuos para Brillo 60°.

Tabla B.15. Regresión para mezclas: Dureza Vs. RC 01, RC 03, RC 05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	1,855	0,2631	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	2,219	0,2631	*	*	1,964	58,32%
	Poliéster	1,037	0,2631	*	*	1,964	R-cuad.
	Alq*Acríl	-	1,2127	-0,92	0,375	1,982	(pred.)
	Alq*Poli	0,525	1,2127	0,43	0,672	1,982	27,89%
	Acríl*Poli	-	1,2127	-2,27	0,04	1,982	R-cuad. (ajust)
							43,43%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	2,9158	2,916	0,583	3,92	0,02
	Lineal	2	2	1,612	0,806	5,41	0,018
	Cuadrática	3	0,9158	0,916	0,305	2,05	0,153
	Error residual	14	2,0842	2,084	0,149		
	Falta de ajuste	4	2,0842	2,084	0,521	*	*
	Error puro	10	0	0	0		
Total	19	5					

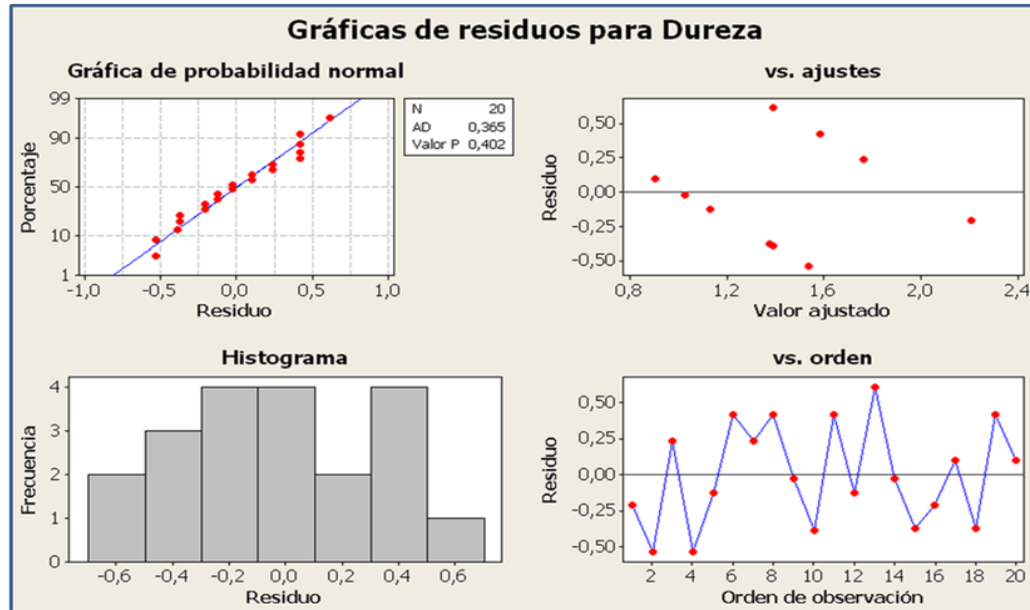


Figura B.16. Gráficos de residuos para Dureza.

Tabla B.16. Regresión para mezclas: Impacto directo Vs. RC 01, RC 03, RC 05

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	4,86	0,4764	*	*	1,964	R-cuad. 50,50%
	Acrílica	3,315	0,4764	*	*	1,964	
	Poliéster	3,769	0,4764	*	*	1,964	
	Alq*Acríl	-5,354	2,1956	-2,44	0,029	1,982	R-cuad. (pred.)11,89%
	Alq*Poli	-0,444	2,1956	-0,2	0,842	1,982	R-cuad. (ajust) 32,82%
	Acríl*Poli	4,465	2,1956	2,03	0,061	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	6,9684	6,968	1,39367	2,86	0,056
	Lineal	2	2	2,776	1,38788	2,84	0,092
	Cuadrática	3	4,9684	4,968	1,65612	3,39	0,048
	Error residual	14	6,8316	6,832	0,48797		
	Falta de ajuste	4	6,8316	6,832	1,70791	*	*
	Error puro	10	0	0	0		
Total	19	13,8					

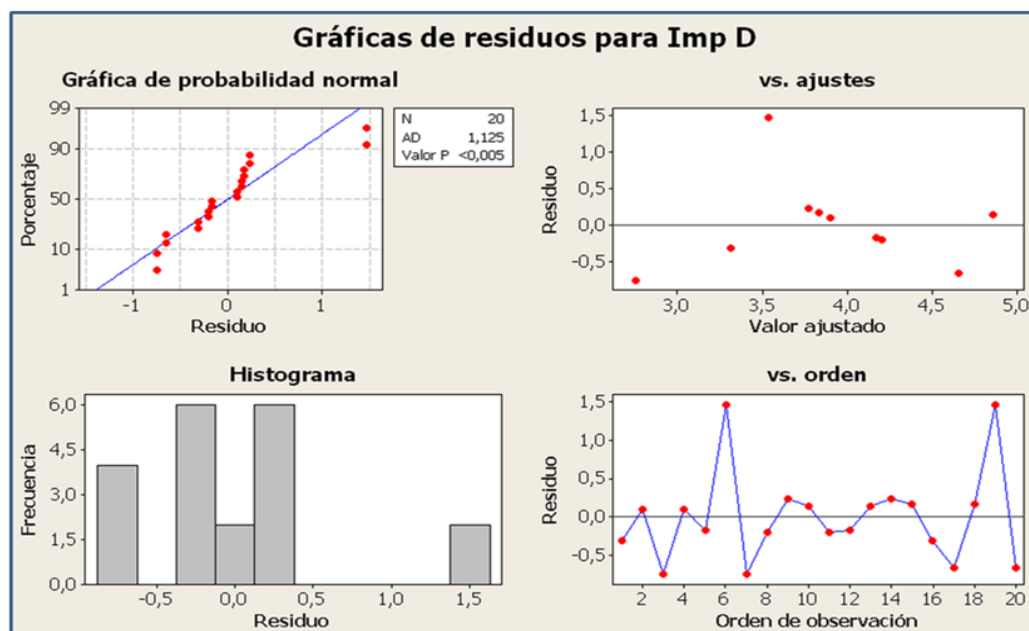


Figura B.17. Gráficos de residuos para Impacto directo.

Tabla B.17. Regresión para mezclas: Impacto indirecto Vs. RC 01, RC 03, RC 05.

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	2,838	0,3135	*	*	1,964	R-cuad. 80,21%
	Acrílica	1,656	0,3135	*	*	1,964	
	Poliester	4,02	0,3135	*	*	1,964	R-cuad. (pred.)59,46%
	Alq*Acríl	0,247	1,445	0,17	0,866	1,982	
	Alq*Poli	2,975	1,445	2,06	0,059	1,982	R-cuad. (ajust) 73,14%
	Acríl*Poli	-	1,445	-0,96	0,353	1,982	
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	11,991	11,99	2,39816	11,35	0
	Lineal	2	10,889	6,146	3,07273	14,54	0
	Cuadrática	3	1,1019	1,102	0,36731	1,74	0,205
	Error residual	14	2,9592	2,959	0,21137		
	Falta de ajuste	4	2,4592	2,459	0,61479	12,3	0,001
	Error puro	10	0,5	0,5	0,05		
	Total	19	14,95				

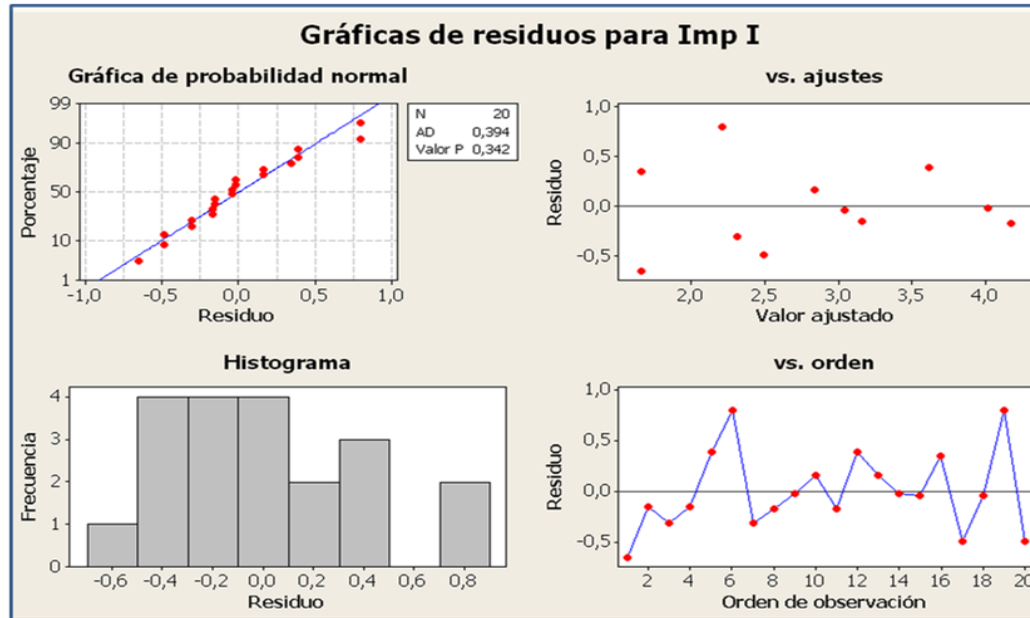


Figura B.18. Gráficos de residuos para Impacto Indirecto.

Tabla B.18. Regresión para mezclas: Adhesión Vs. RC 01, RC 03, RC 05

Coeficientes de regresión estimados	Término	Coef	SE Coef	T	P	VIF	R
	Alquídica	5,103	0,4241	*	*	1,964	R-cuad.
	Acrílica	2,194	0,4241	*	*	1,964	72,58%
	Poliéster	5,148	0,4241	*	*	1,964	R-cuad.
	Alq*Acríl	2,556	1,9547	1,31	0,212	1,982	(pred.) 57,91%
	Alq*Poli	-	1,9547	-0,79	0,445	1,982	R-cuad.
	Acríl*Poli	0,646	1,9547	0,33	0,746	1,982	(ajust) 62,79%
Análisis de varianza	Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
	Regresión	5	14,335	14,34	2,867	7,41	0,001
	Lineal	2	13,389	12,61	6,305	16,3	0
	Cuadrática	3	0,9461	0,946	0,315	0,82	0,506
	Error residual	14	5,415	5,415	0,387		
	Falta de ajuste	4	4,915	4,915	1,229	24,57	0
	Error puro	10	0,5	0,5	0,05		
Total	19	19,75					

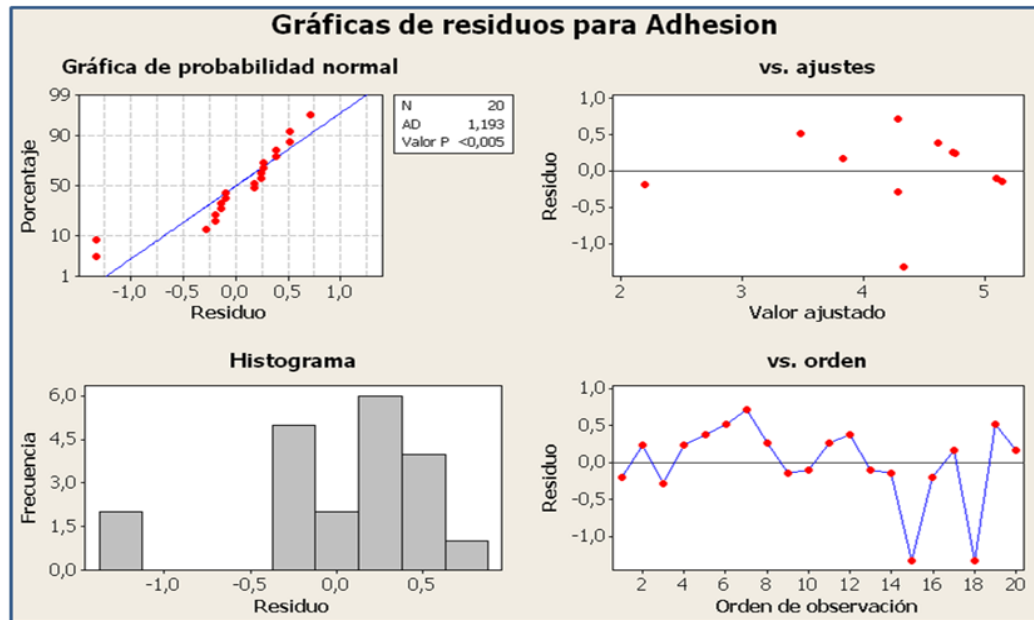


Figura B.19. Gráficos de residuos para adhesión.

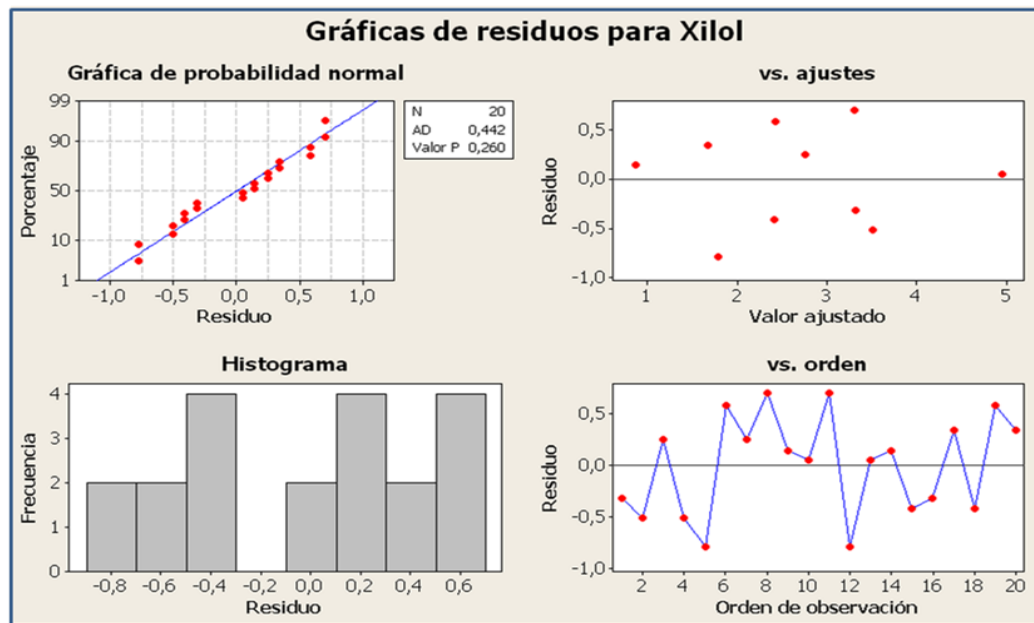


Figura B.20. Gráficos de residuos para resistencia al xilol.

Gráficos de superficie de respuesta y de contornos.

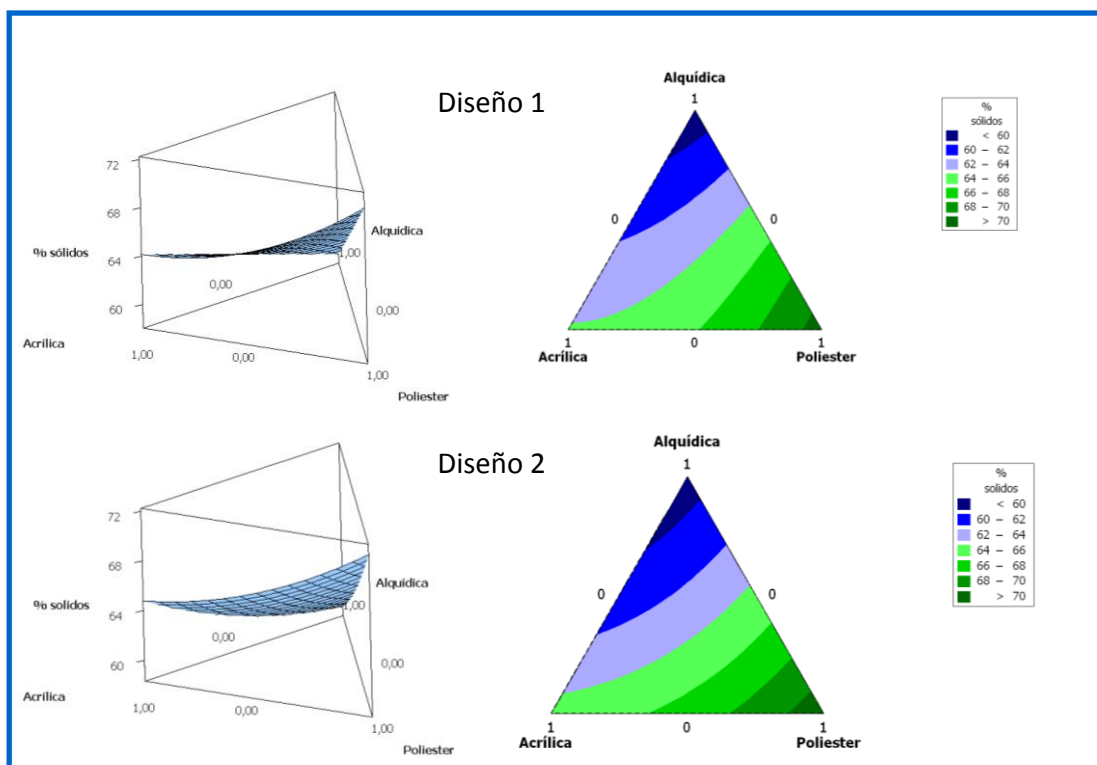


Figura B.21. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para sólidos por peso en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

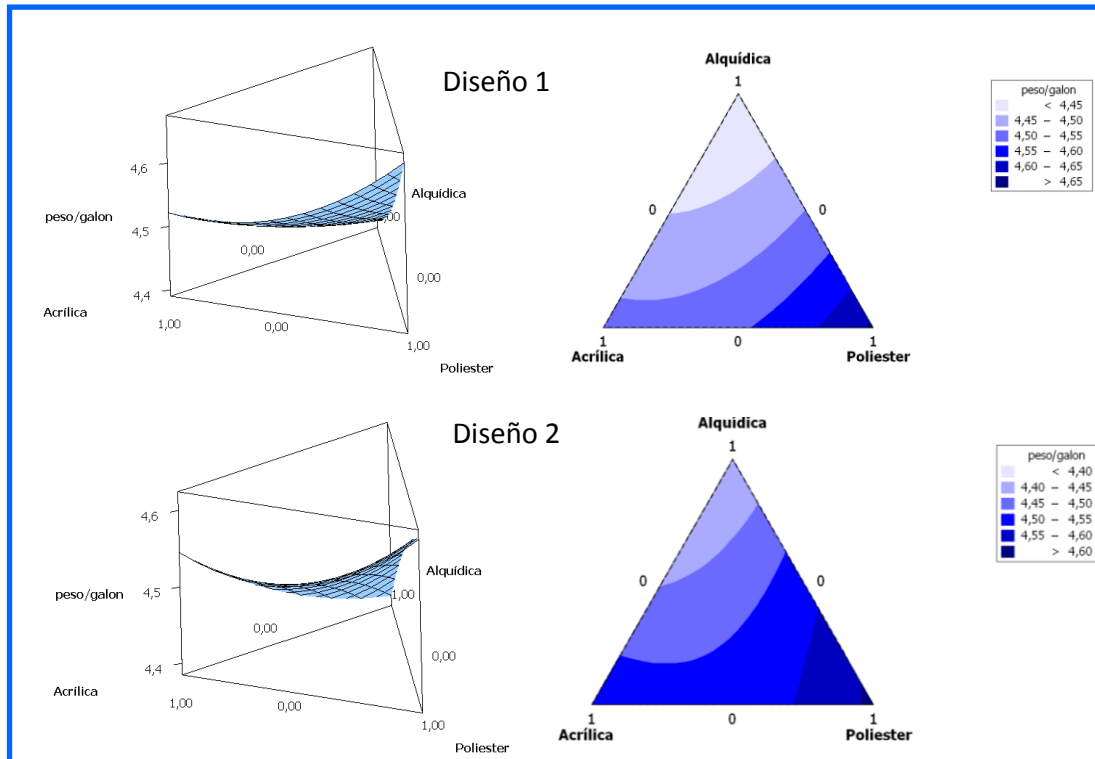


Figura B.22. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para peso por galón en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

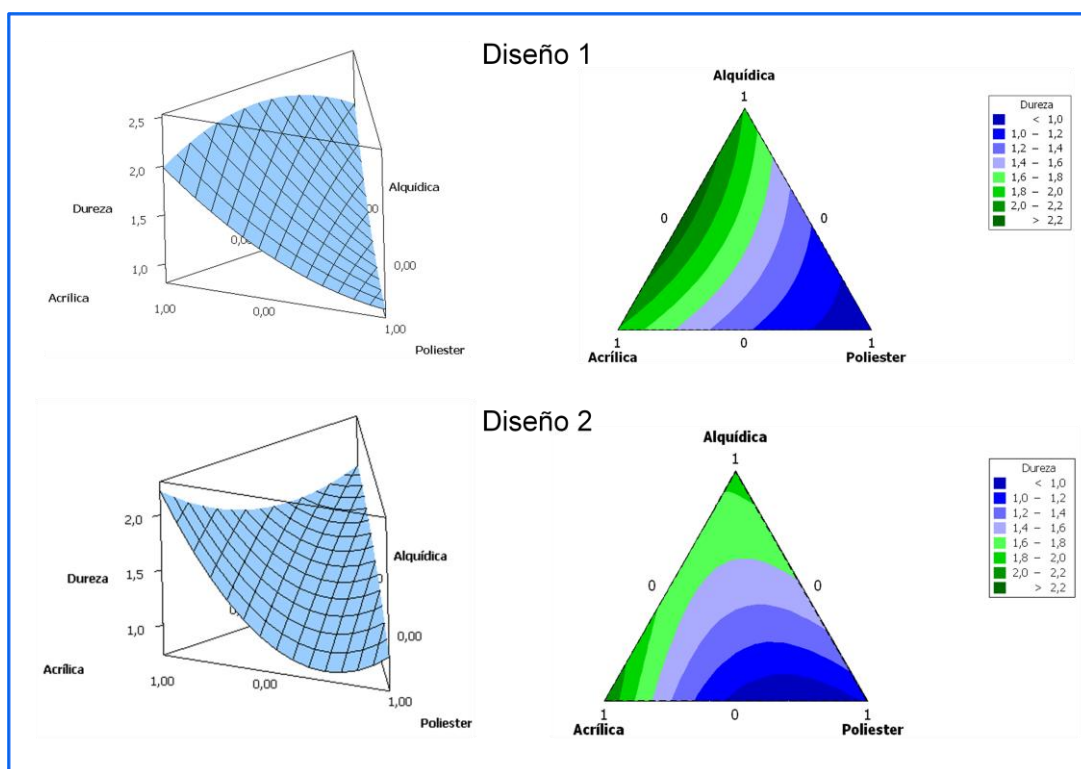


Figura B.23. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para dureza en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.

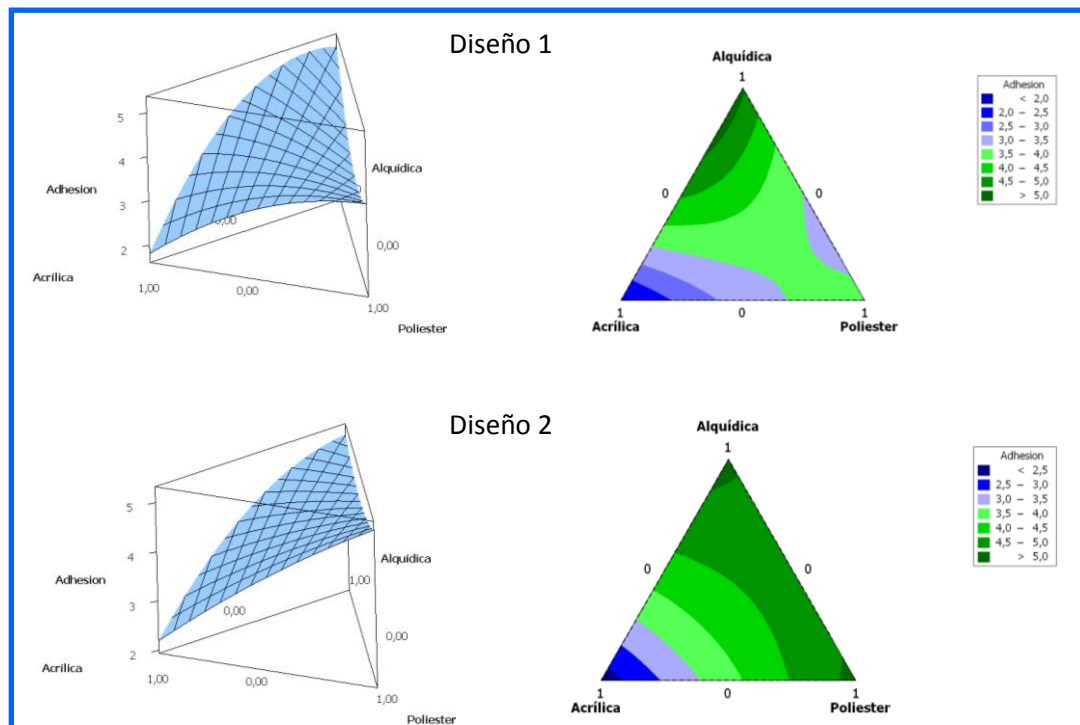


Figura B.24. Gráficos de superficie de respuesta y de contornos para adhesión en función de la proporción de los componentes en ambos diseños.