



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**FACTIBILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN DE UNA RESINA ALQUÍDICA USADA EN LA
ELABORACIÓN DE UN FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO
APLICADO A SUSTRATO METÁLICO**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para
optar al Título de Ingeniero Químico

Autor: Br. Alejandro J. Amiuny R.
Tutor Académico: Prof. Angelina Correia
Tutor Empresarial: Ing. José Madrid

Valencia, Abril de 2008.

A Dios, por haberme otorgado la fuerza, la luz y la voluntad necesaria para emprender mis estudios.

A mi mamá Blanca y mi papá Alexis, mis pilares más importantes y mi motivación de superación. Gracias por el apoyo incondicional que siempre me han brindado y especialmente por el amor y la confianza que siempre me dan.

A mis hermanos, Miguel, Fabiola y Alba, que son mis guías, mis amigos y mis figuras a admirar en la vida. Gracias a todos ustedes por el apoyo y la ayuda que siempre me brindan.

A mi novia Vanessa Isabel, el amor de mi vida, que es mi fuerza y mi motivo para superarme cada día más. Gracias por siempre estar a mi lado.

A mi cuñada Diana Carolina y mi cuñado Ramón José, quienes son también mis hermanos y a los cuales también les dedico el empeño y esmero que puse en este trabajo.

A todos aquellos que saben mi cariño y afecto.

Alejandro José Amiuny Rondón

ABSTRACT

The studied was based on determinate the feasibility of the substitutions of resins used in the formulation of black primer coat for metallic's substrates, In order to maintain the final products qualities. It was made a characterization of the dispersion and black primer coat with the actual resin. Then it was studied the possible substitutes resins in both products to determinate the quality for each resin evaluated in comparison with the standards formulations. An two experiment design was applied using the Taguchi methodology, to obtain the optimal conditions regarding the appearance, adhesion, flexibility, and others. Additionally it was determinate the relation cost and benefit of the substitution. Based on the carried out studies, and improve was found when substitute the actual resin for the Resin RC-B on the dispersion and the Resin RC-D on the black primer coat. Finally it is recommended to study the substitution of Resin RC-D on the formula of dispersion.

RESUMEN

El objetivo principal del presente Trabajo Especial de Grado, se basó en determinar la factibilidad de la sustitución de las resinas empleadas en la elaboración del fondo negro de alto desempeño aplicado a piezas metálicas, con el fin de mantener sus mismas propiedades. Para el cumplimiento de dicho objetivo se procedió a caracterizar la dispersión de la base negra y el fondo negro de alto desempeño, con la finalidad de conocer las propiedades finales en ambos productos. Se evaluaron cuales eran las resinas potencialmente sustitutas de la resina actual y se determinaron las propiedades aportadas por las mismas en la dispersión y en el fondo negro de alto desempeño para establecer comparaciones con la fórmula actual. Por otro lado el diseño de la investigación es de tipo experimental y su nivel de profundidad es de tipo proyecto factible. Se utilizaron dos diseños experimentales enfocados en metodología Taguchi, para determinar las condiciones de la fase de premezcla y la fase de completación en el proceso de dispersión de la base negra que participa en la formulación del fondo negro de alto desempeño. Entre los resultados cabe destacar que las resinas potenciales sustitutas empleadas tanto en la formulación de la dispersión de la base negra y el fondo negro de alto desempeño, arrojaron valores en las propiedades finales tales como: finura, viscosidad Stormer, % de sólidos, adhesión, flexibilidad, escurrido y dureza que se encuentran dentro del rango establecido para la aprobación de ambos productos. Tomando en cuenta el comportamiento de las propiedades medidas se concluye que la RC-B de tipo poliéster, es la resina sustituta de la RC-1 en la formulación de la base negra y que la RC-D de tipo poliéster que reemplaza a la resina actual en la elaboración del fondo negro de alto desempeño, ya que la misma mejora las propiedades finales del fondo con el que se está trabajando. Finalmente se recomienda que para estudios posteriores se considere la evaluación e implementación de la RC-D en la fórmula de la dispersión de la base negra.

Palabras claves: fondo negro, dispersión, resinas, metodología Taguchi.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2.1.- Situación Actual	6
1.2.2.- Situación Deseada	7
1.3.- OBJETIVOS	7
1.3.1.- Objetivo General	7
1.3.2.- Objetivos Especificos	7
1.4.- JUSTIFICACIÓN	8
1.5.- LIMITACIONES	9
CAPÍTULO II	
2.- MARCO TEÓRICO	10
2.1.- ANTECEDENTES	10
2.2.- BASES TEÓRICAS	15
2.2.1.- PINTURA	15
2.2.1.1.- Sistema completo de pintura automotriz	15
2.2.2.- INTENSIDAD DE MATIZ	17
2.2.3.- MECANISMOS DE CURADO	18
2.2.3.1.- Clasificación de los mecanismos de curado	19
2.2.3.1.1.- Formación de película a temperatura ambiente	19
2.2.3.1.2.- Formación de película a alta temperatura	21
2.2.4.- RESINAS	22
2.2.4.1.- Resinas de poliéster	24
2.2.4.2.- Resinas alquídicas	26
2.2.4.3.- Resinas epóxicas	28
2.2.5.- DISPERSIÓN	29
2.2.5.1.- Estabilización por carga	31
2.2.5.2.- Estabilización estérica	31

2.2.6.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)	31
2.2.6.1.- Metodología Taguchi	33
2.2.6.2.- Análisis de Varianza ANOVA	35
2.2.7.- MINITAB 14	35
2.2.8.- COSTOS	37
2.2.8.1.- Precio de venta	38
2.2.8.2.- Indicadores económicos	38
CAPÍTULO III	
3.- MARCO METODOLOGICO	41
3.1.- DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE FONDOS MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DIRECTA	41
3.1.1.- Revisión bibliográfica de los procedimientos de laboratorio y seguridad de la empresa	41
3.1.2.- Observación de los procedimientos y métodos de ensayo usados en el laboratorio de desarrollo	42
3.1.3.- Entrevistas con el personal de laboratorio para lograr la identificación del proceso	42
3.1.4.- Observación directa de las áreas y equipos involucrados en el proceso de elaboración de dispersión y de fondos	42
3.1.5.- Revisión de la formulación actual de la dispersión y del fondo negro de alto desempeño	43
3.2.- ESPECIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN NEGRA Y EL FONDO NEGRO	43
3.2.1.- Conocimiento de los métodos y procesos de elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos	43
3.2.2.- Familiarización con los diferentes equipos que se utilizan para la elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos	44
3.3.- DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	44
3.3.1.- Identificación de los factores que afectan la calidad del producto	44
3.3.2.- Elaboración del diagrama causa-efecto	44

3.3.3.- Establecimientos del rango de valores más adecuado para las variables de salidad	44
3.4.- OBTENCIÓN DE LAS PROPUESTAS QUE PERMITAN LA ADECUADA SELECCIÓN DE LA RESINA A SUSTITUIR EN LA DISPERSIÓN Y EN EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	45
3.4.1.- Revisión y selección de la metodología estadística a emplear	45
3.4.2.- Creación del diseño experimental (DOE) para verificar el estado actual de las variables que participan en el proceso de dispersión	45
3.4.2.1.- Selección del DOE	45
3.4.2.2.- Establecimiento del número de factores, niveles y tipo de diseño del DOE	46
3.4.2.3.- Definición de parámetros necesarios para el diseño	48
3.4.2.4.- Generación del DOE	49
3.4.3.- Desarrollo del diseño experimental (DOE)	50
3.4.3.1.- Preparación de los materiales	50
3.4.3.2.- Preparación de los equipos	50
3.4.3.3.- Realización de los experimentos	51
3.4.3.4.- Recolección y vaciado de datos	51
3.4.4.- Análisis del diseño experimental (DOE)	52
3.4.4.1.- Análisis gráfico de las variables de calidad viscosidad e intensidad de matiz en función del tiempo de premezcla, proporción de resinas, proporción de solventes y mezcla de solventes	52
3.4.4.2.- Análisis de la varianza (Anova One Way), estimación de la relación señal-ruido (S/N) y selección de variables	55
3.4.5.- Creación del diseño experimental 2 (DOE 2) para verificar el efecto de las variables seleccionadas en el anterior DOE, sobre la etapa de completación del proceso de dispersión	58
3.4.5.1.- Revisión y selección de la metodología a emplear	58
3.4.5.2.- Creación del diseño experimental para la verificación de las variables seleccionadas en la etapa de completación del proceso de dispersión	58
3.4.5.2.1.- Selección del diseño experimental (DOE)	58
3.4.5.2.2.- Establecimiento del N° de factores, niveles y diseño del DOE	58
3.4.5.2.3.- Definición de los parámetros necesarios para el diseño	60

3.4.5.2.4.- Generación del DOE	60
3.4.6.- Desarrollo del DOE	61
3.4.6.1.- Preparación del DOE	61
3.4.6.2.- Preparación de los equipos	61
3.4.6.3.- Realización de los experimentos	61
3.4.6.4.- Recolección y vaciado de datos	61
3.4.7.- Análisis del diseño experimental 2	61
3.4.7.1- Análisis gráfico de las variables de salida en función de las variables de entrada	61
3.4.7.2.- Análisis de varianza, estimación de la relación señal-ruido y selección de las variables	63
3.5.- VALIDACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	65
3.5.1.- Implementación de la nueva base negra obtenida en el proceso de dispersión en el Fono negro de alto desempeño	65
3.5.2.- Evaluación de las posibles resinas en la formulación del fondo negro de alto desempeño	65
3.6.- EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE	66
3.6.1.- Determinación de indicadores económicos	66
3.6.2.- Análisis y selección de las alternativas propuestas	67
CAPÍTULO IV	
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
4.1.- DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE FONDOS MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DIRECTA	69
4.1.1.- Revisión bibliográfica de los procedimientos de laboratorio y seguridad de la empresa	69
4.1.2.- Observación de los procedimientos y métodos usados en el laboratorio de desarrollo	69
4.1.3.- Entrevistas con el personal de laboratorio para lograr la identificación del proceso	70

4.1.4.- Observación directa de las áreas y equipos involucrados en el proceso de dispersión y elaboración de fondos	70
4.1.5.- Revisión de la formulación actual de la dispersión y del fondo negro de alto desempeño	71
4.2.- ESPECIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN NEGRA Y EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	71
4.2.1.- Conocimiento de las propiedades a evaluar en la dispersión y en el fondo negro de alto desempeño	71
4.2.2.- Conocimientos de los métodos y procesos de elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos	72
4.2.3.- Familiarización con los diferentes equipos que se utilizan para la elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos	72
4.3.- DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	73
4.3.1.- identificación de los factores que afectan la calidad del producto	73
4.3.2.- Elaboración del diagrama causa-efecto general	74
4.3.3.- Establecimiento de los rangos de valores más adecuados para las variables de salida	77
4.4.- OBTENCIÓN DE LAS PROPUESTAS QUE PERMITAN LA ADECUADA SELECCIÓN DE LA RESINA A SUSTITUIR EN LA DISPERSIÓN NEGRA	77
4.4.1.- Revisión y selección de la metodología experimental a emplear	78
4.4.2.- Desarrollo del diseño experimental (DOE)	78
4.4.3.- Análisis gráfico, comportamiento químico y estadístico de las variables de las variables de salida viscosidad e intensidad de matiz en función de las variables de entrada	83
4.4.4.- Creación del diseño experimental (2) para verificar el efecto de las variables seleccionadas en el anterior DOE, sobre la etapa de completación del proceso de dispersión	89
4.4.5.- Desarrollo del DOE	90

4.4.6.- Análisis gráfico, comportamiento químico y estadístico de las variables de salida con respecto a las cantidades de resina y solvente a completar	91
4.5.- VALIDACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	99
4.5.1.- Implementación de la nueva base negra obtenida del proceso de dispersión en el fondo negro de alto desempeño	99
4.5.2.- Evaluación de las posibles resinas en la formulación del fondo negro de alto desempeño	99
4.6.- EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE	108
4.6.1.- Determinación de la relación costo-beneficio para la formulación propuesta del fondo negro de alto desempeño	108
4.6.2.- Análisis y selección de las alternativas propuestas	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APENDICE A	120
APENDICE B	122
APENDICE C	139
APENDICE D	151
ANEXOS	153

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1.- COCIENTE SEÑAL-RUIDO, S/R	34
TABLA 3.1.- FACTORES Y NIVELES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DOE 1	46
TABLA 3.2.- FACTORES Y NIVELES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DOE 2	58
TABLA 4.1.- VALORES LÍMITES PARA LA APROBACIÓN DE LA BASE NEGRA Y EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	77
TABLA 4.2.- VALORES DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ “L” EMPLEANDO LA RC-A EN LA FASE DE PREMEZCLA	80
TABLA 4.3.- VALORES DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ “L” EMPLEANDO LA RC-B EN LA FASE DE PREMEZCLA	81
TABLA 4.4.- VALORES DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ “L” EMPLEANDO LA RC-C EN LA FASE DE PREMEZCLA	82
TABLA 4.5.- ESTIMACIÓN DEL VALOR ESTADÍSTICO “p” PARA RESINA, TIEMPO DE PREMEZCLA, PROPORCIÓN DE RESINA Y PROPORCIÓN DE SOLVENTE APLICANDO ANALISIS DE VARIANZA	85
TABLA 4.6.- RESPUESTA DE LA RELACIÓN SEÑAL-RUIDO PARA LA RESINA, TIEMPO DE PREMEZCLA, PROPORCIÓN DE RESINA, PROPORCIÓN DE SOLVENTE Y MEZCLA DE SOLVENTES UTILIZANDO EL CRITERIO ESTADÍSTICO “MENOR ES MEJOR”	86
TABLA 4.7.- VALORES ECONÓMICOS REFERENCIALES PARA LAS RESINAS Y SOLVENTES CONSIDERADOS EN LA FASE EXPERIMENTAL	87
TABLA 4.8.- VARIABLES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DEL DOE 2 REFERENTE A LA FASE DE COMPLETACIÓN DE LA DISPERSIÓN	89
TABLA 4.9.- VALORES REPORTADOS DE LAS PRUEBAS DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ DEL DOE 2	91
TABLA 4.10.- ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS FACTORES CANTIDAD DE RESINA Y SOLVENTE A COMPLETAR SOBRE LAS PROPIEDADES INTENSIDAD DE MATIZ Y VISCOSIDAD STORMER	95

TABLA 4.11.- VALOR DE LA RELACIÓN SEÑAL-RUIDO CALCULADA PARA LOS DIFERENTES NIVELES EN LOS FACTORES CANTIDAD DE RESINA Y SOLVENTE A COMPLETAR UTILIZANDO EL CRITERIO “MENOR ES MEJOR” PARA LA INTENSIDAD DE MATIZ	96
TABLA 4.12.- VALOR DE LA RELACIÓN SEÑAL-RUIDO CALCULADA PARA LOS DIFERENTES NIVELES EN LOS FACTORES CANTIDAD DE RESINA Y SOLVENTE A COMPLETAR UTILIZANDO EL CRITERIO “MAYOR ES MEJOR” PARA LA VISCOSIDAD STORMER	97
TABLA 4.13.- FORMULACIÓN PROPUESTA PARA LA SUSTITUCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS ACTUALES DE LA DISPERSIÓN NEGRA	98
TABLA 4.14.- VALORES DE LAS PROPIEDADES EVALUADAS REPORTADAS PARA CADA UNA DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES REFERIDAS A LA RESINA Y MEZCLA DE RESINAS UTILIZADAS EN LA SUSTITUCIÓN	100
TABLA 4.15.- ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS RESINAS QUE PARTICIPAN EN LA SUSTITUCIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FINALES: % SÓLIDOS, BRILLO, VISCOSIDAD Y DUREZA DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	105
TABLA 4.16.- VALORES ECONÓMICOS REFERENCIALES DEL COSTO ADQUISITIVO DE LAS RESINAS POTENCIALMENTE SUSTITUTAS	106
TABLA 4.17.- FORMULACIÓN PROPUESTA PARA EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO CON LA INCLUSIÓN DE LA RESINA RC-D Y LA BASE NEGRA PROPUESTA	107
TABLA 4.18.- VALORES DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LA FORMULACIÓN ACTUAL Y LA FORMULACIÓN PROPUESTA DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	108
TABLA C.1.- PORCENTAJE DE SÓLIDOS DE LAS RESINAS USADAS EN LA SUTITUCIÓN DE LA RC-1 DE LA DISPERSIÓN DE LA BASE NEGRA	140
TABLA C.2.- FORMULACIÓN ACTUAL DE LA DISPERSIÓN DE LA BASE NEGRA	140
TABLA C.3.- FORMULACIÓN ACTUAL DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	144

TABLA C.4.- FORMULACIÓN PROPUESTA PARA EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO	146
TABLA D.1.- LISTA DE RESINAS USADAS	152
TABLA D.2.- LISTA DE SOLVENTES USADOS	152

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Etapas que comprende el proceso de dispersión y elaboración del fondo negro de alto desempeño	5
Figura 2.1.- Representación del sistema completo de pintura automotriz	16
Figura 2.2.- Sistemas de coordenadas de color CIE	18
Figura 2.3.- Ventana principal del software Minitab	36
Figura 3.1.- Selección del diseño experimental (DOE) en Minitab	46
Figura 3.2.- Especificación del número de factores y número de niveles	47
Figura 3.3.- Especificación del tipo de diseño a usar para el DOE	48
Figura 3.4.- Especificación de las variables del DOE	49
Figura 3.5.- Generación del DOE	50
Figura 3.6.- Equipos que conforman el montaje del DOE 1	51
Figura 3.7.- Vaciado de datos en Minitab	52
Figura 3.8.- Generación del análisis gráfico del DOE	53
Figura 3.9.- Selección de los factores a ser analizados	53
Figura 3.10.- Selección de la variable de salida	54
Figura 3.11.- Representación gráfica del efecto generado por las variables de entradas versus la variable de salida	54
Figura 3.12.- Análisis de Varianza (ANOVA)	55
Figura 3.13.- Selección de las variables a realizarles el Análisis de varianza	56
Figura 3.14.- Resultados aportados por el Análisis de Varianza	56
Figura 3.15.- Tabla de respuesta de las relaciones señal-ruido para las variables especificadas, bajo el criterio estadístico “menor es mejor”	57
Figura 3.16.- Especificación del número de factores y niveles del DOE	59
Figura 3.17.- Selección del número de experimentos a emplear en el DOE	59
Figura 3.18.- Definición de los niveles y factores del DOE	60
Figura 3.19.- DOE generado	60
Figura 3.20.- Análisis del DOE	62
Figura 3.21.- Selección de las variables a analizar	62
Figura 3.22.- Gráficos generados por el análisis del DOE	63
Figura 3.23.- Especificación de las variables a analizar	64
Figura 3.24.- Resultados del Análisis de Varianza (ANOVA)	64

Figura 4.1.- Diagrama Causa-Efecto referido a la Formulación de Dispersiones	75
Figura 4.2.- Diagrama Causa-Efecto referido a la Formulación de fondos	76
Figura B.1.- Medidor de espesor Fisherscope Multi 750	124
Figura B.2.- Medición del espesor de sustrato metálico	124
Figura B.3.- Medición del color de un sustrato metálico con el Crhoma Vision (10°)	125
Figura B.4.- Mandril cónico para pruebas de flexibilidad	126
Figura B.5.- Vista de una lamina a la que se le ha aplicado la prueba de flexibilidad	126
Figura B.6.- Materiales necesarios para la prueba de adhesión	127
Figura B.7.- Resultado de una prueba de adhesión a un sustrato metálico	127
Figura B.9.- Barra y hoja de acero	128
Figura B.10.- Ejecución del paso 2 del procedimiento	128
Figura B.11.- Evaluación de la muestra en la barra de acero	129
Figura B.12.- Pesada del picnómetro vacío y tapa	130
Figura B.13.- Colocación de la muestra en el picnómetro	130
Figura B.14.- Pesada de la muestra una vez que se taró la balanza	130
Figura B.15.- Verificación del valor pesado en la tabla para ubicación de la medida en unidades respectivas	131
Figura B.16.- Cabina de aplicación	132
Figura B.17.- Instrumento para la medición del brillo	133
Figura B.18.- Arranque de la toma de la medida del tiempo que tarda en completarse una revolución	134
Figura B.19.- Nivel alcanzado por la cuerda una vez que el rotor completó una revolución completa	135
Figura B.20.- Equipo utilizado para la medición de la dureza Tukón	136
Figura B.21.- Materiales y equipos necesarios para la aplicación del método	137
Figura B.22.- Agregado de la muestra en la copa Ford N° 4	138
Figura B.23.- Accionamiento del cronómetro	138

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1.- Comportamiento gráfico de la intensidad de matiz “L” en función de los diferentes niveles a los que fueron evaluados los factores determinados	83
Gráfica 4.2.- Efecto de las variables cantidad de resina y solvente a completar sobre “L”	92
Gráfica 4.3.- Efecto de las variables cantidad de resina y solvente a completar sobre la viscosidad Stormer	92

INTRODUCCIÓN

El fondo negro de alto desempeño es un producto elaborado por DuPont Performance Coatings Venezuela, que se aplica sobre un sustrato metálico con la intención de aportar propiedades protectoras a la superficie recubierta. La obtención de dichas propiedades depende de la reacción que ocurre entre las resinas que participan en la formulación del producto. Estas resinas pueden ser de tipo poliésteres, alquídicas o epóxicas.

La presente investigación se fundamenta en la sustitución de la resina actual de tipo Alquídica en la formulación de la dispersión de la base negra y el fondo negro de alto desempeño, por otras resinas de mayor movimiento y uso, en los diferentes productos que elabora la empresa. La resina actual es fabricada en una sede extranjera únicamente para la elaboración de este fondo negro en específico, además la cantidad mínima que se puede producir de la misma, por condiciones de proceso, excede a la cantidad empleada en la fabricación del fondo negro de alto desempeño. Por ello se requiere su sustitución por resinas de fabricación local que minimicen los costos variables y mejoren las propiedades finales del producto, tales como: adhesión, flexibilidad, dureza, escurrido, resistencia a la corrosión, resistencia al ataque químico y a la intemperie.

El desarrollo de la investigación se basará en conseguir las condiciones óptimas en los procesos de fabricación del fondo negro de alto desempeño, partiendo desde la fase de premezcla y fase de completación de la etapa de dispersión de la base negra y culminando con la elaboración del fondo negro de alto desempeño. Para ello se procede a caracterizar la dispersión y el fondo actual para conocer las propiedades a evaluar en los mismos. También se identifican y evalúan las posibles resinas sustitutas que presenten características similares a la resina actual, a fin de obtener las condiciones óptimas para la implementación de las resinas que se seleccionen en la formulación de la dispersión negra y el fondo negro de alto desempeño. Por otro lado, se determina la relación costo-beneficio para establecer el impacto económico generado por la implementación de la o las materias primas seleccionadas en este trabajo. Además se utilizarán fundamentos teóricos enfocados en los materiales poliméricos y sus propiedades, los diferentes

tipos de resinas que se utilizan en la formulación de pinturas, las etapas que comprende el proceso de dispersión, las herramientas estadísticas basadas en criterios del mejoramiento de la calidad del producto y los métodos utilizados en la toma de decisiones.

Los procedimientos metodológicos que se emplean a lo largo del desarrollo de la investigación son dos diseños experimentales tipo Taguchi, uno enfocado en la fase de premezcla y humectación del pigmento y otro en las cantidades requeridas para la completación de la dispersión con la finalidad de obtener las propiedades finales necesarias para la aprobación del producto. Para la elaboración del fondo se seguirá un esquema de experimentos basados únicamente en la sustitución de la resina actual por las resinas disponibles y potenciales sustitutas con la meta de igualar o mejorar las propiedades finales de dicho producto.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera. El capítulo I contiene el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El capítulo II comprende los fundamentos teóricos y antecedentes utilizados en el desarrollo de la investigación. El capítulo III corresponde al marco metodológico donde se especifican las herramientas y los procedimientos para el desarrollo de los diseños experimentales. El capítulo IV se refiere a la presentación e interpretación de los resultados de la investigación. Como aspecto final se incluyen las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas, apéndices y anexos.

ANEXOS

APÉNDICE A



Modelo de Encuesta

Nombre: _____

Área de Trabajo: _____

Lea detenidamente las preguntas antes de contestar.

1.- Según su conocimiento ¿Cuál considera UD. son las etapas que comprende el proceso de elaboración de fondos?

2.- De dichas etapas ¿Cuál de éstas pueden considerarse que generen un efecto sobre los productos intermedios y/o finales?

Según los objetivos planteados, la finalidad de éste trabajo es sustituir la resina actual que compone el fondo por alguna de las existentes en el stock de materiales.

3.- Según la idea anterior ¿Cuál considera que deben ser las propiedades a evaluar en el fondo una vez que se ha sustituido la materia prima?

4.- ¿Cuáles son los problemas comunes que presentan los fondos una vez que han sido elaborados?

APÉNDICE B

APENDICE B

1.- Procedimiento para la medición de espesores FISHERCOPE MULTI 750

El objetivo del procedimiento es proveer un método para la medición de los espesores de un acabado sobre sustratos metálicos, el cual se realiza mediante el equipo Fishercope Multi 750 (ver figura), el cual a través de inducción magnética puede determinar el espesor de película en paneles magnéticos y por otro lado usa corriente de Hedi para determinar el espesor en metales no magnéticos.

Procedimiento

1.- Se procede a verificar la calibración del equipo, si el mismo no se encuentra calibrado se procede de la siguiente manera:

1.1.- Se selecciona en N° de aplicación donde están almacenados los parámetros de calibración.

1.2.- Posteriormente se chequea la confiabilidad del equipo, usando un panel sin acabado y los estándares de espesores.

1.3.- Si los resultados difieren de 0,1 mil o más, se bloquea y se consulta con el departamento de metrología para realizar los ajustes necesarios en el equipo.

2.- Según sea el caso de los sustratos metálicos a medir, se debe de seleccionar en el equipo:

2.1.- Para los magnéticos la tecla identificada como GA 1.3 (NF/FE).

2.2.- Y los no magnéticos la tecla identificada como T 3.3 (Iso/NF).

3.- Sí los resultados que se obtienen son correctos las mediciones pueden ser realizadas situando el sensor de manera suave y firme perpendicular al acabado que se esta midiendo. Posteriormente se levanta el sensor y deja el equipo listo para una proxima medición.

4.- Realizar de 5 a 10 mediciones para un mismo sustrato, los resultados de las mismas pueden ser visualizados presionando la tecla que muestra en la pantalla del equipo las diferentes opciones tales como, promedio de espesor medido, máximo y

mínimo espesor medido, número de mediciones realizadas, desviación estándar y coeficiente de variación.



Figura B.1 Medidor de espesor Fisherscope Multi 750



Figura B.2 Medición del espesor de sustrato metálico

2.- Procedimiento para las mediciones de color y diferencia de color usando el equipo Chroma Vision.

Este procedimiento se utiliza para realizar mediciones de color en sistemas de pinturas automotrices, empleando el Chroma Vision (ver figura). El instrumento posee tres ángulos de medición fijos, de los cuales uno es estándar y los restantes son patentados por la empresa. Las mediciones en ángulos por separado proveen toda la información de las características de apariencia de una superficie pintada en términos de su difusión y componentes especulares.

Procedimiento

- 1.- En primer lugar se verifica la calibración del equipo, en caso de que el mismo no este calibrado, se deben de seguir las siguientes indicaciones:
 - 1.1.- Presionar en el equipo la tecla CAL.
 - 1.2.- Inicialmente se realiza la medición del estándar blanco, luego se procede a la comprobación del índice de reflexión con el estándar negro.
- 2.- Luego se coloca el Crhoma Vision sobre el panel o sustrato a medir.
- 3.- Presionar la tecla AVG, para seleccionar el tipo de medición ya sea realizando una sola medida sobre el panel o tomando el promedio de tres medidas que presenta el equipo.
- 4.- Luego se presiona la tecla READ.
- 5.- Finalmente se anotan los valores de L, A y B reportados para un ángulo de 45°.



Figura B.3 Medición del color de un sustrato metálico con el Crhoma Vision (10°)

3.- Procedimiento para la determinación de la flexibilidad de la película usando el mandril cónico

- 1.- Preparar el panel según las especificaciones.
- 2.- Tomar un tiempo de reposo aproximadamente de una hora o el tiempo que establezca el cliente después de la etapa de horneado del sistema.
- 3.- Colocar la lámina o sustrato en el mandril cónico y asegurarlo. (Ver figura B.4)

4.- Realizar un doblez aplicando una fuerza uniforme sobre la palanca del mandril cónico con una duración aproximada de 15 segundos. (Ver figura B.5)

5.- Verificar la presencia de grietas o desprendimientos en el sistema, determinando el inicio de la ruptura en las diferentes capas que conforman el mismo.



Figura B.4 Mandril cónico para pruebas de flexibilidad



Figura B.5 Vista de una lamina a la que se le ha aplicado la prueba de flexibilidad

4.- Procedimiento de la determinación de la adhesión

1.- La prueba se debe de realizar en un período no mayor a las veinticuatro horas de haber aplicado y horneado el sustrato pintado.

2.- Trazar 11 cortes paralelos sobre la película con ayuda de la rejilla y la cuchilla. (Ver figura B.6)

3.- Realizar 11 cortes perpendiculares a los realizados en el paso 2.

4.- Una vez realizado el trazado de los cortes, resulta un total de 100 cuadros en el sistema y sobre estos se debe de colocar una cinta adhesiva que los cubra aplicando una ligera presión con el dedo. Luego se desprende la cinta aplicando un movimiento violento y hacia arriba. (Ver figura B.7)

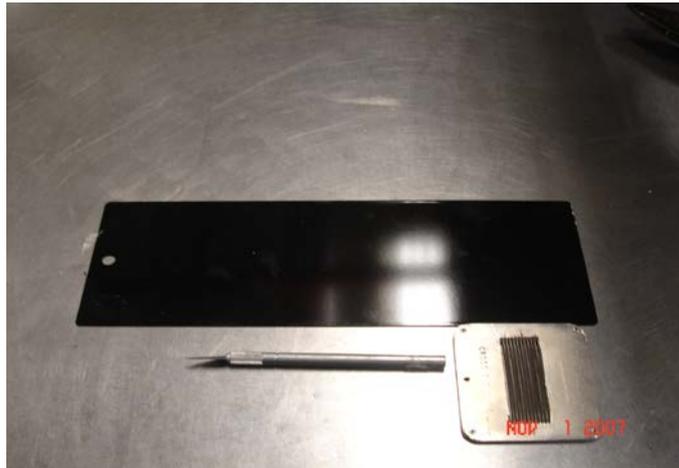


Figura B.6 Materiales necesarios para la prueba de adhesión

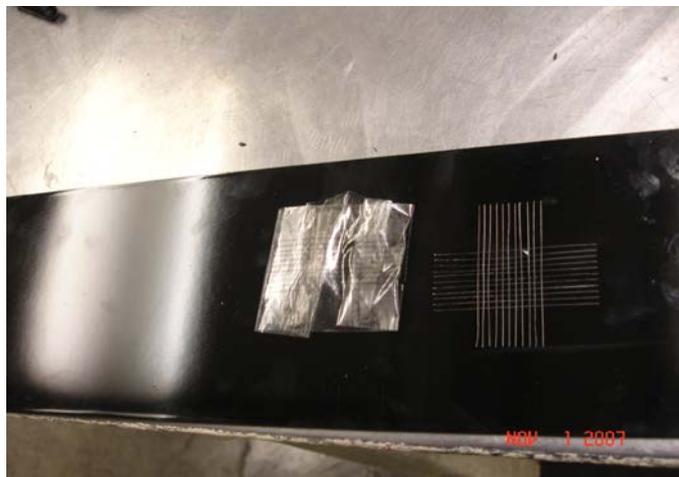


Figura B.7 Resultado de una prueba de adhesión a un sustrato metálico

5.- Procedimiento para la determinación de la finura en bases y dispersiones

1.- Seleccione la barra de acero que cubra el rango de finura del producto a evaluar. Use el #1 para finura de 0 a 1.5 mils y el # 2 para finura de 1.5 mils o más, de acuerdo a las especificaciones del producto.

2.- Coloque una cantidad adecuada de pintura a evaluar en la parte de arriba de la barra. Pase la hoja de acero por la muestra y córralo a lo largo de la hendidura hacia usted a una velocidad uniforme y moderada.

3.- Inmediatamente verifique la aparición de semillas en un ángulo de 20, 30 y 90°, tome la lectura mayor donde el producto muestre apariencia granulosa o no uniforme.

4.- Es importante no esperar más de 10 segundos después de haber deslizado la hoja de acero para efectuar la lectura, ya que se pueden obtener lecturas dudosas, y una apariencia diferente debido a la evaporación del solvente.



Figura B.9 Barra y hoja de acero



Figura B.10. Ejecución del paso 2 del procedimiento



Figura B.11. Evaluación de la muestra en la barra de acero

6.- Procedimiento para la determinación del Peso/Galón de una muestra

- 1.- Ajustar la temperatura del material, a la especificada por el cliente, antes de hacer la medida. Cuando no se especifique la temperatura, se asumirá $25^{\circ}\text{C} \pm 1$.
- 2.- Pesarse el picnómetro y la tapa del mismo en la balanza y anotar el peso obtenido. Tarar la balanza.
- 3.- Llenar el picnómetro con el producto. Asegurarse que la muestra no presente burbujas o aire atrapado.
- 4.- Tapar la muestra y si es el caso limpiar el exceso generado sobre dicha tapa
- 5.- Colocar la muestra sobre la balanza y observar el peso que reporta.
- 6.- Verificar el peso en gramos reportado en la balanza y tomar el valor entero con un decimal.
- 7.- Con ayuda de la tabla de peso por galón y gramos por centímetros cúbicos que se muestra en la figura anexa, se ubica el valor entero en las filas de la primera columna de izquierda a derecha y el valor decimal se ubica en las columnas posteriores. La intersección de las celdas correspondientes representa la medida en Kg/gal de lado izquierdo de la celda y de lado derecho g/cm^3 .

8.- Se reportara la medida que ofrece la tabla en unidades de Kg/Galón.



Figura B.12. Pesada del picnómetro vacío y tapa

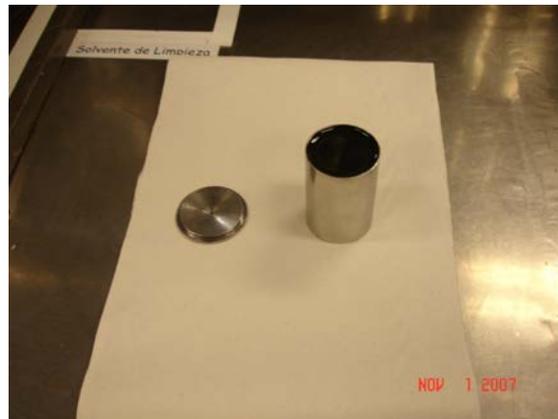


Figura B.13. Colocación de la muestra en el picnómetro



Figura B.14. Pesada de la muestra una vez que se taró la balanza

Figura B.15. Verificación del valor pesado en la tabla para ubicación de la medida en unidades respectivas

7.- Procedimiento para la aplicación de piezas metálicas con el uso de pistolas de succión

Para la aplicación de láminas con el uso de pistolas a succión, se siguen los siguientes pasos:

- 1.- Colocar la lámina a ser aplicada en el soporte inclinado que se encuentra dentro de la cabina de aplicación.
- 2.- Ubicar la válvula de suministro de aire en posición abierta (paralela a la tubería).
- 3.- Ajustar el manómetro de Burdon a la presión indicada en las especificaciones del producto a aplicar, para este ajuste se debe mover la válvula reguladora, abriendo (girar a la izquierda), o cerrándola (girar a la derecha).
- 4.- Abrir el envase que contiene el producto a aplicar y colocar el tubo de succión dentro de él.
- 5.- Posicional la pistola frente a la lámina colocada en el soporte a una distancia de entre 15 a 25 cm. inclinándola de manera que quede paralela al soporte.

- 6.- Accionar el gatillo de la pistola, para así abrir la boquilla de la misma y dar paso al fluido.
- 7.- Mover de manera horizontal y uniforme la pistola a modo que la pintura caiga en el panel en diferentes secciones hasta cubrir la lámina, esto representa un pase.
- 8.- Repetir el paso anterior hasta que la superficie (lámina metálica) quede cubierta con el número de manos (una mano = 2 pases). Necesarias para alcanzar el espesor requerido por el producto.
- 9.- Lavar la pistola, una vez alcanzado el espesor necesario, utilizando suficiente solvente de limpieza, hasta asegurarse que no queden restos del material aplicado en la parte interna y externa de la pistola.



Figura B.16 Cabina de aplicación

8.- Procedimiento para la determinación del brillo de una capa de pintura

- 1.- Verifique la etiqueta de calibración del instrumento, si está en condiciones de uso.
- 2.- Encienda el instrumento.
- 3.- Estandarice el instrumento, colocando el panel estándar que se encuentra junto al equipo, en el soporte para tal fin.

- 4.- Oprima el botón del ángulo de 20° y observe si el valor que aparece en la pantalla corresponde con el valor indicado en la parte inferior del estándar, en caso contrario ajuste el botón correspondiente a éste ángulo.
- 5.- Repita la operación anterior para los ángulos de 60 y 85 grados respectivamente.
- 6.- Retire el panel estándar, colóquelo cuidadosamente en su estuche.
- 7.- El panel a ser medido debe haber sido previamente preparado a las condiciones indicadas en la fórmula de dicho producto.
- 8.- Coloque el panel en el soporte para realizar la medición, presione el botón del ángulo requerido. Haga por lo menos tres (3) lecturas en diferentes áreas del panel.
- 9.- Reporte el promedio de las lecturas.
- 10.- Cerciórese que al finalizar de tomar las lecturas los botones que identifican a cada uno de los ángulos se encuentren en posición hacia afuera.

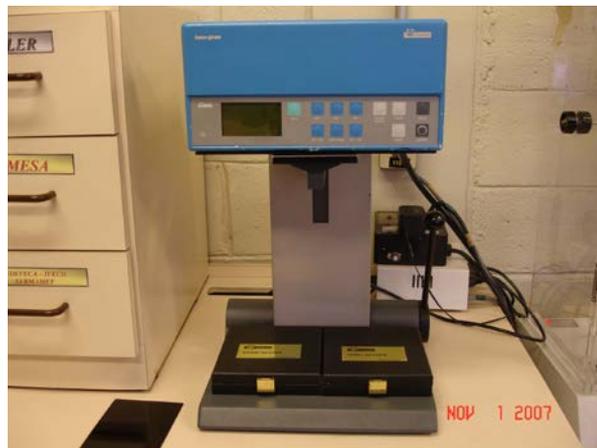


Figura B.17.- Instrumento para la medición del brillo

9.- Procedimiento para la determinación de la Viscosidad Stormer.

- 1.- Colocar una cantidad de muestra a medir, en 1/8 de galón hasta alcanzar un 80 % de su volumen. Llevar la muestra a una temperatura de $25,0 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ y mantenerla a dicha temperatura durante el ensayo.

- 2.- Sacar del viscosímetro el rotor y el portapesas. Asegurarse que la cuerda esté enrollada en forma pareja en el carrete y no se sobreponga a si misma.
- 3.- Se ajusta la altura de la base hasta un nivel donde no interfiera con el movimiento del rotor
- 4.- Se coloca una masa de valor apreciable sobre el portapesas. Con el cronómetro en cero se suelta el freno y se activa la cuenta del tiempo hasta que se haya completado una revolución completa (un giro de 360° indicado por el cuenta revoluciones).
- 5.- Sí la medida del tiempo se ubica entre 24 y 40 segundos se procede a repetir la medida tres veces. Sí el tiempo es menor a 24 segundos se debe de agregar una masa menor y repetir la medida. Sí el tiempo es mayor a 40 segundos se debe de incrementar el peso y repetir el procedimiento.
- 6.- Se promedian los valores del tiempo y el resultado se intercepta con el total de la masa colocada más los 50 gramos del portapesas. Se obtiene el valor de la viscosidad en unidades Stock y se realiza la conversión necesaria para llevarla a unidad Poise.



Figura B.18. Arranque de la toma de la medida del tiempo que tarda en completarse una revolución



Figura B.19. Nivel alcanzado por la cuerda una vez que el rotor completó una revolución completa

10.- Procedimiento para la determinación de la dureza Tukón de una capa de pintura sobre sustrato metálico

- 1.- Se coloca la lámina de metal sobre el portamuestra y se asegura con las pinzas.
- 2.- Se desplaza el portamuestras hasta la posición establecida para la impresión de cortes.
- 3.- Se enciende el equipo y se pulsa el botón de ignición.
- 4.- Una vez que el equipo haya culminado el proceso de corte, se procede a colocar al portamuestras en la posición donde el corte pueda ser observado con el microscopio.
- 5.- Se ajusta la observación del microscopio hasta lograr ver nítidamente el rombo resultado del corte.
- 6.- Con ayuda del microscopio y manipulando las perillas para el ajuste de las escalas fijas se coloca la escala fija horizontal sobre la punta inferior del rombo y la escala fija vertical sobre la punta izquierda del mismo.
- 7.- Con ayuda de la perilla de la escala móvil, se posiciona la misma sobre la punta superior del rombo y se observa el valor medido por dicha escala visualizada a través del microscopio, adicionándole el valor de la graduación de la perilla de escala móvil. Dicha medida corresponde a la longitud vertical del rombo.

8.- Se entra en la tabla con la medida resultante y se verifica que valor de dureza en unidades Knoop se acerca más, bien sea por defecto o por exceso, a la medida de la longitud vertical del rombo.



Figura B.20. Equipo utilizado para la medición de la dureza Tukón

11.- Procedimiento para la determinación de la intensidad de matiz en bases negras.

Para realizar la medición de la intensidad de matiz se debe de preparar una mezcla de la base negra a estudiar con la base blanca empleada para esta prueba, siguiendo los pasos que se listan a continuación.

- 1.- Se pesa en un recipiente una cantidad de 100 gramos de la base blanca utilizada para la medición de la intensidad de matiz.
- 2.- Se agregan 4 gramos de la dispersión o base negra en estudio.
- 3.- Se agregan 10 gramos del solvente de dilución.
- 4.- Se tapa la muestra y se agita por un espacio de 5 minutos. Se prepara una lámina profundeada y se le coloca un monitor blanco-negro para verificar cubrimiento.

5.- Se aplica la muestra empleando la pistola de succión, ajustando la presión de aire entre 50 y 60 psi, hasta lograr el cubrimiento de el monitor blanco-negro.

6.- Se deja en reposo por espacio de 10 minutos, y luego se hornea a una temperatura de 135 °C por 20 minutos.

7.- Una vez que se haya enfriado la lámina en un intervalo de tiempo no mayor a 30 minutos después de haber sido retirada del horno, se procede a tomar las medidas de "L", empleado el procedimiento para las mediciones de color y diferencia de color usando el equipo Chroma Vision.

12.- Procedimiento para la determinación de la viscosidad con la Copa Ford N° 4

1.- Se ajusta la temperatura de la mezcla a 25 °C.

2.- Se agrega la mezcla a la copa Ford N°4, tapando el orificio del extremo inferior o de salida del líquido con el dedo, hasta que se alcance el nivel de altura del orificio superior (Figura B.22).

3.- Se coloca el tiempo en cero, y una vez que se retira el dedo del extremo inferior, se acciona el cronómetro y el mismo se detiene una vez que la caída del líquido sea discontinua.

4.- Se repite la medida dos veces y se saca el promedio de los valores obtenidos.



Figura B.21. Materiales y equipos necesarios para la aplicación del método

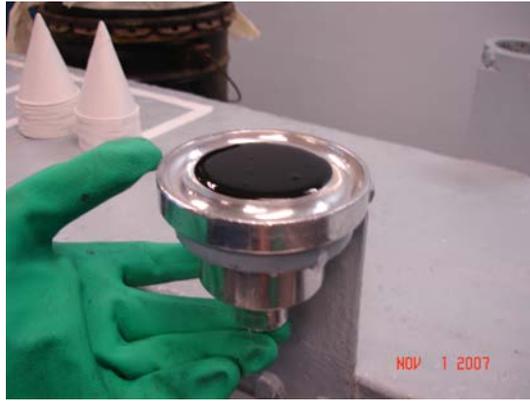


Figura B.22. Agregado de la muestra en la copa Ford N° 4



Figura B.23. Accionamiento del cronómetro

APÉNDICE C

1.- Ajuste de la formulación de la base negra (BN-1) en función del porcentaje de sólidos de las resinas sustitutas.

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de sólidos de las resinas que se utilizaron en la sustitución de la resina actual.

**TABLA C.1
PORCENTAJE DE SÓLIDOS DE LAS RESINAS USADAS EN LA SUSTITUCIÓN DE LA RC-1 DE LA DISPERSIÓN NEGRA BN-1**

Resinas	Porcentaje de sólidos ($P_s \pm 0,1$) (%)
RC-1	56,0
RC-A	70,0
RC-B	65,0
RC-C	57,3
RC-D	72,8

La formulación actual de la dispersión negra se puede visualizar en la siguiente tabla:

**TABLA C.2
FORMULACIÓN ACTUAL DE LA DISPERSIÓN DE LA BASE NEGRA (BN-1)**

Materia Prima - Codificación	Proporción en mezcla ($P_r \pm 0,001$) %
RC-1	36,200
AD-2	0,710
Ste-2	6,030
Ste-1	6,550
PN-1	10,670
Ste-1*	2,000

CONTINUACIÓN TABLA C.2
FORMULACIÓN ACTUAL DE LA DISPERSIÓN DE LA BASE NEGRA (BN-1)

Materia Prima - Codificación	Proporción en mezcla ($P_r \pm 0,001$) %
RC-1*	18,620
Ste-1*	0,254
RC-1*	18,620
Ste-1*	0,254

Para el caso de la sustitución con la resina RC-A, el cálculo del factor respectivo para el ajuste del porcentaje de resina es el siguiente:

$$Factor = \frac{P_s \text{ Resin } aMayor}{P_s \text{ Resin } aMenor}$$

Donde:

$P_s \text{ Resin } aMayor$: corresponde al valor del porcentaje de sólidos mayor entre las resinas que se analizan.

$P_s \text{ Resin } aMenor$: corresponde al valor del porcentaje de sólidos menor entre las resinas que se analizan.

$$Factor = \frac{0,56}{0,70} = 0,8(a \text{ dim})$$

Al multiplicar este factor únicamente por los porcentajes en mezcla de la resina, el porcentaje total de la mezcla es igual a 85,31 %, por lo que se tiene que reajustar para que la sumatoria sea igual a 100%, de esta manera resulta:

$$Factor \text{ Reajuste} = \frac{100\%}{85,31\%} = 1,17(a \text{ dim})$$

Multiplicando nuevamente por el factor de reajuste se obtiene la formula de la base negra (BN-1) con un total de porcentaje de mezcla del 100 %, de esta manera resulta los valores de los porcentajes expresados en la tabla 4.14 del capítulo IV.

Cabe destacar que para las sustituciones de la mezcla de solvente, en los casos donde se utilizaba Ste2-Ste3, se mantuvo la proporción fija 40-60 %, y la sustitución en formula es 1 a 1, permaneciendo igual el valor numérico de los porcentajes en mezcla.

Para la fase de premezcla, los porcentajes en mezcla de la solución del aditivo (AD-2) y el pigmento negro PN-1, se mantienen constantes. Los porcentajes totales de resina y solvente son 68,87 y 17,69 % respectivamente.

- Para una cantidad de 100 g de muestra, con una proporción de resina 35 % se tiene:

$$Ctd\ Resin\ a = 100\ g * 0,35 * 0,6887 = 24,1045\ g$$

Donde:

Ctd Resin a : corresponde a la cantidad de resina a agregar en la premezcla.

- Para la cantidad de solvente independientemente de la mezcla que se este trabajando, si fuese Ste-1/Ste-2, Ste-1/Ste-3 o Ste-2/Ste-3 la proporción fija es de 60-40 en todos los casos, y en la fase de premezcla con una proporción de solvente de 50 % resulta:

$$CtdSte1 = 100\ g * 0,6 * 0,5 * 0,1769 = 5,307\ g$$

$$CtdSte2 = 100\ g * 0,4 * 0,5 * 0,1769 = 3,538\ g$$

Donde:

CtdSte1 : se refiere a los gramos de Ste-1 a emplear en la fase de premezcla.

CtdSte2 : se refiere a los gramos de Ste-2 a emplear en la fase de premezcla.

Para la fase de completación, se mantiene fija la proporción de resina y solvente en la fase de premezcla en 35 y 50 % respectivamente, lo que quiere decir que resta un 65 % del total de resina y un 50 % del total de solvente. Si el caso es la completación con 50 % de resina y solvente, asumiendo igualmente que se trabaja con 100 g de mezcla, nos queda:

$$Re\ stoRC = 100g * 0,65 * 0,6887 = 44,77g$$

$$Re\ stoSte = 100g * 0,5 * 0,1769 = 8,845g$$

La completación quedaría:

$$CompRC - A = 44,77g * 0,5 = 22,385g$$

$$CompSte1 = 8,845g * 0,5 * 0,6 = 2,65g$$

$$CompSte2 = 8,845g * 0,5 * 0,4 = 1,769g$$

Donde:

CompX : Se refiere a la cantidad en gramos referidas a la fase de completación para la resina y la mezcla de solventes que se utilicen.

Cabe mencionar que estos cálculos aplican para las sustituciones de cualquiera de las resinas bien RC-B o RC-C.

2.- Ajuste de la formulación del fondo negro de alto desempeño, en función del porcentaje de sólidos de las resinas o mezcla de resinas sustitutas

En la siguiente tabla, se muestra la formulación actual del fondo negro:

TABLA C.3
FORMULACIÓN ACTUAL DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

Código	Porcentaje en mezcla ($P_m \pm 0,01$) (%)
BN-1	46,80
DA-1	4,84
RC-1	8,31
Mel-1	23,00
RC-2	4,03
AD-1	0,19
C-1	0,09
Ste-4	4,63
Ste-2	3,52
Ste-5	4,25

Al igual que en la dispersión, la sustitución de la resina y de la dispersión se deben de realizar en función del porcentaje de sólidos de las resinas, es decir para el caso de la base negra (BN-1) la actual es con la RC-1 y la propuesta es con la RC-B, y para el caso del fondo propuesto se utiliza la RC-D. En la siguiente tabla aparecen reflejados los valores de los porcentajes de sólidos de las resinas que se utilizaron en la etapa de la elaboración del fondo.

De esta manera, los cálculos asociados a la sustitución de la base negra (BN-1*) propuesta y la RC-D son los siguientes:

- La base negra actual trabaja con la RC-1 y la propuesta con la RC-B, por lo que el porcentaje en mezcla para la formula del fondo quedaría:

$$\%_{mezcla} BN - 1^* = \frac{(0,56)}{(0,65)} * 46,80\% = 40,32\%$$

Donde:

$\%_{mezcla} BN - 1^*$: Corresponde al porcentaje de sólidos calculado para la base negra propuesta

- La sustitución de la RC-1 por la RC-B resulta:

-

$$\%_{mezcla} RC - B = \frac{(0,56)}{(0,728)} * 8,31\% = 6,40\%$$

Donde:

$\%_{mezcla} RC - B$: indica el valor correspondiente al porcentaje de sólidos de la RC-B.

Sí se sustituyen estos dos porcentajes en la fórmula actual, y considerando que no se utilizó ninguno de los aditivos como el C-1, el total del porcentaje de mezcla es igual a 91,27%. Por lo tanto se debe de reajustar dichos porcentajes a través del cálculo del siguiente factor:

$$Factor_{reajuste} = \frac{(100\%)}{(91,27\%)} = 1,096$$

Multiplicando a todos los porcentajes por dicho valor, la formulación propuesta del fondo negro Bundy resulta:

TABLA C.4
FORMULACIÓN PROPUESTA PARA EL FONDO NEGRO DE ALTO
DESEMPEÑO

Materia Prima - Código	Porcentaje en mezcla ($P_o \pm 0,01$) %
BN-1*	43,93
DA-1	5,28
RC-D	6,97
Mel-1	25,06
RC-2	4,40
AD-1	0,75
Ste-4	5,09
Ste-2	3,89
Ste-5	4,63

Cabe destacar que los cálculos anteriormente realizados para la formulación de fondos aplican para la sustitución de cualquiera de las resinas que aparecen en la tabla C.1. Para el caso de que se trabaje con una mezcla de resinas, la proporción de las mismas en mezcla es de 50-50 %, por lo que el porcentaje de 6,97 % se dividiría en 3,48 % para cada una.

3.- Cálculo de la relación costo – beneficio de las alternativas seleccionadas

Para el cálculo de este indicador económico se deben de considerar los siguientes costos:

- Costos variables: asociados a los costos de materia prima en (\$/Kg) ya que los demás costos de producción y elaboración del fondo permanecen constantes. De esta manera para la formulación actual y la formulación propuesta los costos operativos asociados a cada una son:

- El precio de venta de el fondo negro de alto desempeño es de 20 \$ por kilogramo, y se calcula a través del “Gross Profit”, el cual es un método empleado para la estimación de los precios de venta de un producto en específico, la formula de dicho es la siguiente:

$$PV = \frac{\text{Costo variable}}{100 - \text{ganancia}}$$

Asumiendo un 30 % de ganancia y tomando como base el costo operativo actual del fondo negro de alto desempeño se tiene el precio de venta aproximado de 20 \$/Kg

- Por lo que el beneficio resulta:

$$\text{Beneficio} = \text{Precio}_{\text{venta}} - \text{Costo}_{\text{variable}}$$

$$\text{Beneficio}_{\text{actual}} = 20 \frac{\$}{\text{Kg}} - 13,657 \frac{\$}{\text{Kg}} = 6,343 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

$$\text{Beneficio}_{\text{propuesto}} = 20 \frac{\$}{\text{Kg}} - 11,620 \frac{\$}{\text{Kg}} = 8,380 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

- La relación costo-beneficio resulta de la división del costo operativo entre el beneficio calculado, por lo que resulta:

$$\%(\text{Costo} / \text{Beneficio})_{\text{Actual}} = \frac{13,657 \frac{\$}{\text{Kg}}}{6,343 \frac{\$}{\text{Kg}}} * 100 = 215,29\%$$

$$\%(\text{Costo}/\text{Beneficio})\text{Pr opuesto} = \frac{11,620 \frac{\$}{Kg}}{8,380 \frac{\$}{Kg}} * 100 = 138,67\%$$

4.- Cálculo del porcentaje de minimización de los costos variables

El cálculo de la minimización de los costos variables se determina como el diferencia entre los costos variables de la formulación actual y la formulación propuesta, divididos entre los costos variables de la formulación actual. La formula es la siguiente:

$$\% MCV = \frac{\text{Costo}_{\text{var iable}} \text{Actual} - \text{Costo}_{\text{var iable}} \text{Pr opuesto}}{\text{Costo}_{\text{var iable}} \text{Actual}} * 100$$

Donde:

$\% MCV$: Corresponde al porcentaje de minimización de costos

$\text{Costo}_{\text{var iable}} \text{Actual}$: Indica el valor del costo variable del fondo actual

$\text{Costo}_{\text{var iable}} \text{Pr opuesto}$: Indica el valor del costo variable del fondo propuesto

Por lo tanto, el porcentaje de minimización de los costos variables resulta:

$$\% MCV = \frac{13,657 \frac{\$}{Kg} - 11,620 \frac{\$}{Kg}}{13,657 \frac{\$}{Kg}} * 100 = 15,3\%$$

5.- Determinación de errores experimentales

La estimación de los errores experimentales, bien sea para la obtención de un resultado por adición, sustracción, multiplicación o división puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{\rho}{R} = \frac{\alpha}{A} + \frac{\beta}{B} + \frac{\gamma}{C}$$

Donde:

$\rho, \alpha, \beta, \gamma$: Son los errores determinados para cada una de las medidas.

R, A, B, C : Son los valores de las medidas.

Para el caso de la determinación del error del porcentaje en mezcla en la formulación propuesta de la base negra BN-, se tiene:

$$Po = PoRC - B + PoPN - 1 + PoAD - 2 + PoSte - 2 + PoSte - 3 \text{ (Eq. Principal)}$$

Donde:

Po, Po_i : Corresponden al porcentaje en mezcla total y al de los componentes de la base negra propuesta BN-1

$$Po = 70,435\% + 11,978\% + 0,790\% + 6,713\% + 10,084\% = 100\%$$

Los errores o incertidumbres de las medidas se calculan de la siguiente manera:

$$PoRC - B = \frac{PesoRC - B}{Pesototal} * 100$$

$$PoRC - B = \frac{422,6Kg}{600Kg} * 100 = 70,435\%$$

El error de la medida es igual se calcula como:

$$Error_{PRC} = \frac{0,1Kg}{422,6Kg} = 2,37E - 4(a \text{ dim})$$

Donde:

$Error_{PRC}$: indica el error calculado para la proporción de la RC-B

La estimación del error anterior aplica para cada una de las proporciones que aparecen en la ecuación principal. De esta manera el error total de la medida se determina de la siguiente manera:

$$ErrorPo = \left(\frac{Error_{PRC}}{PoRC - B} + \frac{Error_{PPN}}{PoPN - 1} + \frac{Error_{PAD}}{PoAD - 1} + \frac{Error_{PS2}}{PoSte - 2} + \frac{Error_{PS3}}{PoSte - 3} \right) * Po$$

$$ErrorPo = \left(\frac{2,37E - 4}{70,435\%} + \frac{0,0014}{11,978\%} + \frac{0,00211}{0,790\%} + \frac{0,0025}{6,713\%} + \frac{0,00165}{10,084\%} \right) * 100$$

$$ErrorPo = 0,05$$

APÉNDICE D

APÉNDICE D

ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS

1.- Lista de resinas usadas:

Materia Prima	Especificación
RC-1	Resina tipo Alquídica
RC-2	Resina tipo Epóxica
RC-A	Resina tipo Poliéster
RC-B	Resina tipo Poliéster
RC-C	Resina tipo Alquídica
RC-D	Resina tipo Poliéster

2.- Lista de solventes usados:

Materia Prima	Especificación
Ste-1	Acetato
Ste-2	Alcohol Lineal
Ste-3	Aromático
Ste-4	Aromático
Ste-5	Nafta

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se dará a conocer el problema en estudio, especificando el propósito, la situación actual y deseada, además del objetivo general y los específicos que abarcará la investigación. Igualmente se presenta su justificación, limitaciones y alcances.

1.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa promotora se ubica en el mercado de fondos, pinturas y reacabados automotrices, como uno de los principales proveedores de estos productos en nuestro país. Entre sus operaciones se encuentra la fabricación de fondos negros de alto desempeño.

Los fondos de alto desempeño son considerados como la pintura base o imprimante con propiedades anticorrosivas que se aplica sobre superficies o sustratos metálicos. Están conformados por resinas, pigmentos, solventes y aditivos. Las cantidades necesarias de estos componentes son reguladas según normas y estándares de la industria, por lo que los costos de producción están directamente relacionados con estos. No obstante las resinas podrían ser uno de los componentes a considerar para reducir los costos, ya que pueden ser fabricados localmente o importados de otras sedes cercanas.

Las resinas son en su mayoría soluciones poliméricas producto de reacciones de policondensación y polimerización de radicales libres. Son parte fundamental de la pintura, ya que aportan características de vital importancia para la calidad del producto como lo son: adhesión, brillo, flexibilidad, durabilidad, entre otros. El proceso de elaboración de fondo se inicia a partir de una dispersión en la que se mezclan inicialmente la resina 1, los pigmentos, solventes, y aditivos. Por otro lado se prepara una mezcla de la resina 1 y resina 2 junto con los aditivos. Ésta a su vez es combinada

con la dispersión antes preparada y los solventes necesarios para formar el sistema termocurable o fondo negro de alto desempeño.

En la figura que se muestra a continuación se presentan las principales etapas que conforman el proceso en cuestión.

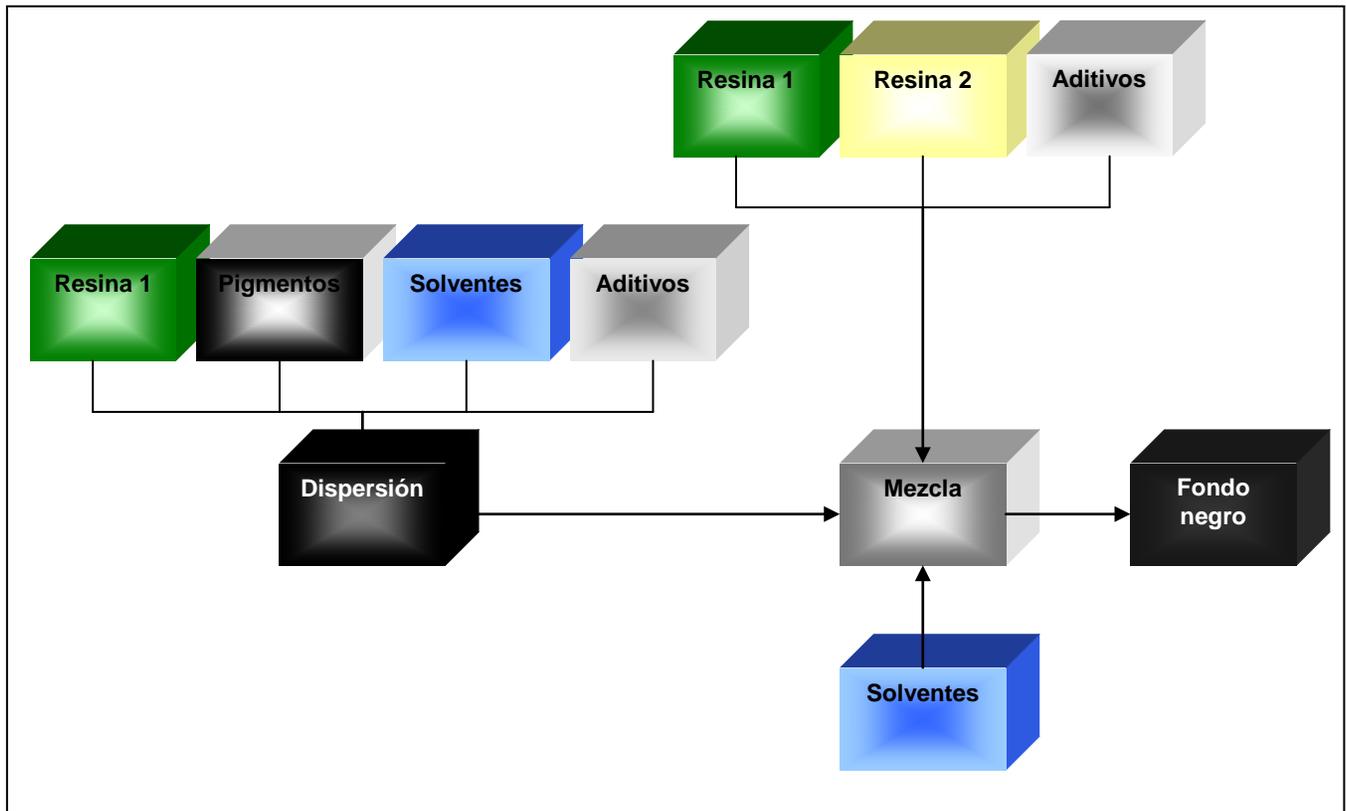


Figura 1.1. Etapas que comprende el proceso de dispersión y elaboración del fondo negro de alto desempeño

Para el proceso que se presenta en la figura 1.1 se hace necesaria la adquisición de la resina 1, ya que la misma reúne las propiedades óptimas para la elaboración del fondo negro de alto desempeño.

En la actualidad la resina 1 es importada y es fabricada únicamente para la empresa en una cantidad que sobrepasa la necesaria para cubrir la demanda del producto terminado, generando incrementos en el inventario.

La empresa tiene conocimiento de 3 resinas similares a la resina 1, que pudieran igualar las propiedades físicas, químicas y mecánicas en el producto final. Es por ello que surge la necesidad de evaluar la incorporación de estas resinas en el proceso, con la finalidad de disminuir los inventarios y el precio final del producto. Para ello se debe de evaluar la factibilidad de la sustitución mediante estudios de laboratorio, corridas de plantas, que den evidencia de una igualación o mejoramiento del proceso.

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la empresa importa la resina 1, que es de fabricación exclusiva y por lotes, lo cual genera un incremento de los inventarios y por ende el precio del fondo negro de alto desempeño.

Tomando en cuenta esta situación, se plantea la interrogante de evaluar la factibilidad técnica y económica de la sustitución de la resina actual por otras de alto movimiento y fabricación local, con el objeto de mantener o mejorar las propiedades y costos del producto final.

1.2.1.- Situación actual

La resina 1 que utiliza la empresa para la elaboración del fondo de alto desempeño, es una resina importada de fabricación exclusiva. La adquisición de la misma es necesaria, ya que por los momentos es la materia prima que reúne las condiciones adecuadas para la fabricación de este fondo en específico.

Por otra parte, la empresa tiene conocimiento de otras resinas que pueden ser alternativas de sustitución de la resina actual, las cuales pudieran igualar o mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del fondo negro de alto desempeño.

Si la empresa no evalúa la factibilidad de sustitución de la resina actual en el proceso de elaboración de dicho fondo, puede traer consecuencias que se verían reflejadas principalmente en la calidad del producto y la satisfacción del cliente.

1.2.2.- Situación deseada

La empresa requiere disponer de un estudio que determine la factibilidad técnica y económica de la sustitución de la resina actual. Existen 3 posibles resinas que tienen un gran movimiento, que pueden igualar o mejorar las propiedades que estas les aportan al fondo negro de alto desempeño. Con este estudio se busca seleccionar la resina como alternativa de sustitución, que cumpla o mejore las condiciones de fabricación del sistema en estudio.

En cuanto al alcance, se determinará el proceso y las condiciones más adecuadas a nivel de laboratorio para la sustitución de la resina 1, que ofrezca el mejor rendimiento en función de los requerimientos y disponibilidades de la empresa.

1.3.- OBJETIVOS

1.3.1.- Objetivo general

Determinar la factibilidad de la sustitución de las resinas empleadas en la elaboración del fondo negro de alto desempeño aplicado a piezas metálicas, con el fin de mantener sus mismas propiedades

1.3.2.- Objetivos específicos

1. Caracterizar la dispersión y el fondo negro de alto desempeño con la resina actual a fin de conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas en ambos productos.

2. Evaluar las resinas disponibles para establecer cuáles son las alternativas de sustitución de la resina actual en ambos productos.
3. Determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la dispersión y el fondo negro de alto desempeño con las resinas evaluadas para establecer comparaciones con los productos originales.
4. Seleccionar la resina que cumpla con las propiedades requeridas para la dispersión y el fondo negro de alto desempeño con la finalidad de verificar su factibilidad técnica.
5. Realizar la evaluación de la factibilidad económica de la resina seleccionada con el fin de estimar el impacto de su incorporación en la estructura de costos de los productos finales.

1.4.- JUSTIFICACIÓN

La compañía trabajará en función del uso de resinas de preparación local la cual dará avance al desarrollo de la tecnología nacional.

En cuanto a la conveniencia de este proyecto, aportará una solución en la formulación de fondos de alto desempeño, disminuyendo los inventarios de la empresa y adecuando los procesos en función del continuo mejoramiento del mismo bajo un esquema fundamentado en la calidad del producto desarrollado. A su vez se llevarán a cabo prácticas que reforzarán los procedimientos, conocimientos y habilidades adquiridas en la carrera universitaria.

Existe una gama de resinas potencialmente sustitutas que presentan características similares a la resina que se desea sustituir y que son de fabricación

común. Esto trae como beneficio que la cantidad de materia prima que se adquiriera sea la necesaria por el proceso.

El estudio se basará en el reconocimiento de las principales características que deben aportar estas resinas para mantener o mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del producto terminado y el impacto económico que este cambio generará.

1.5.- LIMITACIONES

Para la realización de este trabajo, existen diversos factores que pudieran acortar o limitar el desarrollo total de la investigación. Entre los factores se encuentra el tiempo establecido para su culminación, ya que si se llegase a presentar diversos inconvenientes en el desarrollo de los experimentos, o que los resultados de los mismos no se ajusten a las necesidades del proceso, surgiría la necesidad de repetir las pruebas para el mejoramiento del objetivo que se desea alcanzar.

Todo desarrollo o sustitución de materia prima sugiere un proceso para la aprobación por parte del cliente, ya que influyen muchos factores que no dependen del desarrollo del trabajo investigativo. Por lo tanto la implementación de las mejoras que se realicen en el fondo negro de alto desempeño no serán ejecutadas de manera inmediata.

La disponibilidad de las materias primas están sujetas al movimiento y existencia de las mismas en el inventario y por ende todos los factores que se encuentren relacionados a ésta, pueden limitar el desarrollo efectivo del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen brevemente los antecedentes de la investigación, además se especifican las bases teóricas en las que se fundamenta el proyecto, tales como, conceptos, clasificaciones, propiedades, entre otros.

2.1.- ANTECEDENTES

A continuación se muestran los resúmenes de las investigaciones en las que se basa el desarrollo de este trabajo.

Berté A. (2006). **Temas básicos de resinas para recubrimientos**. SATER. Argentina.

En el presente trabajo explican conceptos y definiciones para dar un marco de referencia que ayude a los formuladores a especificar correctamente las necesidades y características de los materiales poliméricos que utilizan como vehículos en sus formulaciones. Además se presenta un análisis físico-químico de las propiedades de las resinas alquídicas y la manera como éstas influyen sobre la apariencia, la tenacidad, la adhesión y la resistencia a la corrosión de los recubrimientos que conforman.

Las conclusiones más relevantes descritas por el autor se encuentra que los tipos de resinas y sus propiedades generales, sobre las que formulador y proveedor acuerdan, sufren la falta de un criterio común para especificar el tipo de vehículo necesario para una determinada aplicación.

El aporte que arroja el trabajo es la información detallada de las variables que se deben analizar en las resinas a evaluar en la presente investigación, para garantizar el mejoramiento de las características del fondo en estudio.

Jiménez, G. y Pérez, M. (2005). **Estandarización del proceso de ajuste de resinas en Dupont de Venezuela, C.A.** Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El trabajo tenía como objetivo principal la estandarización del proceso de ajuste de las resinas en la empresa patrocinante para minimizar la variabilidad en las propiedades de viscosidad y porcentajes de sólidos al momento de fabricación, dicho objetivo estaba afianzado sobre la determinación experimental del comportamiento de las propiedades de las resinas durante el ajuste con las diferentes soluciones, así como también la evaluación del comportamiento de las resinas en diferentes solventes.

Entre las conclusiones se encuentra que las variables más importantes en la etapa de ajustes de resinas son la viscosidad, el porcentaje de sólidos y el número de ajustes.

Cabe destacar que esta investigación se asemeja a la presente, en que ambas se enfocan en el uso de resinas y las propiedades que las mismas aportan al producto terminado, además también plantean una estandarización y ajustes para las resinas, lo cual sirve de referencia para los objetivos que se plantean en la presente investigación.

Mejía, C. (2005). **Agentes dispersantes. Herramientas que facilitan la fabricación de pintura.** Impralatina. Colombia

En el siguiente artículo se muestra una serie de técnicas para la evaluación de las principales propiedades, tales como finura, solventación y humectación del pigmento que forma parte de la dispersión de manera tal que pueda conseguirse la estabilización del sistema, además explican cómo debe trabajarse con un dispersante y los métodos de pruebas para éstos.

Las conclusiones que se presentan en el artículo, es que un buen control en la temperatura del proceso de dispersión aumenta la eficiencia de los agentes dispersantes, además la selección de los agentes dispersantes se realiza en función de las propiedades químicas que presenten las pinturas.

La similitud del presente artículo, está relacionado directamente con cada una de las propiedades físicas, químicas y mecánicas que se deben de evaluar en una

dispersión, así como las condiciones óptimas de operación acompañadas de las características técnicas que deben de existir en el proceso para lograr la obtención de un producto adecuado.

Entre las diferencias cabe destacar que Mejía hace referencia a agentes dispersantes para bases color, y en el caso del presente trabajo se analizan los agentes dispersantes para fondos negros.

Fernández, 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. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo principal del trabajo fue determinar las condiciones de proceso que permitieran mejorar la dispersión de pigmentos en la preparación de tintas utilizadas para la elaboración de pinturas de reacabado automotriz.

Entre las conclusiones más importantes que se encontraron fue que una correcta relación resina-solvente inicial con suficiente tiempo de premezcla favorece el desarrollo de la intensidad del matiz y garantiza una buena humectación.

La similitud de esta investigación con la actual, es que ambas trabajan con dispersiones y evalúan las principales características físicas, químicas y mecánicas una vez terminado el producto. También se verifican cuáles son las condiciones óptimas para la elaboración de la dispersión en específico; además se evalúa la relación costo beneficio de los productos finales.

Romero, Y. (2003). **Factibilidad técnica de la implementación de un vehículo balanceado (binder) universal para la manufactura de fondos automotrices blanco, negro y gris en la empresa Dupont de Venezuela, C.A.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo general de la misma fue la determinación de la factibilidad técnica de la implementación de un binder universal para la manufactura de fondos

automotrices blanco, negro y gris en la empresa, con la finalidad de simplificar el proceso de elaboración de los mismos sin afectar su desempeño. Este objetivo se fundamentaba en los siguientes objetivos específicos: el análisis del proceso de manufactura de fondos automotrices con la finalidad de identificar las variables que lo afectan y realizar una evaluación de las diferentes alternativas propuestas, para así seleccionar las que más se adapten a las especificaciones que ya estaban definidas.

Entre las conclusiones más relevantes se encuentra que el defecto que incide en la calidad del proceso es la existencia de la diferencia entre la fórmula general y la carga real de materiales y también que la evaluación técnica para los fondos blanco, negro y gris determina la factibilidad de la implementación del binder universal.

La semejanza de esta investigación con la actual, recae principalmente en que ambas evalúan la factibilidad en el mejoramiento de fondos fabricados en la empresa y además analizan cuáles son los componentes que tienen un mayor efecto sobre el producto final.

Alfin, M. y Pérez, R. (1998). **Formulación de una base neutra anticorrosiva para la producción de fondos de colores para el mercado Automotriz**, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo general de este trabajo fue la formulación de una base neutra anticorrosiva para ser usada en la elaboración de los fondos de colores para el mercado automotor. Se fundamentaba en el estudio económico de la relación costo-beneficio que arroja la formulación del fondo en estudio. Además se analizan las propiedades que aportaba el fondo anticorrosivo sobre las superficies donde fueron aplicadas.

Entre las conclusiones se encuentra que los fondos de colores anticorrosivos formulados mejoran la apariencia de las piezas pintadas, por otro lado la incorporación de la base neutra en la producción de los fondos de colores incide positivamente sobre los costos de producción.

El trabajo anteriormente mencionado presenta una similitud con el que se está elaborando actualmente en que ambos sugieren una evaluación del impacto económico generados por el fondo que se ha formulado, de la misma manera aporta ideas sobre las principales características que debe de cumplir un fondo anticorrosivo, que en esencia son las mismas que se deben de cumplir en el trabajo actual que se está tratando.

Las diferencias que pueden ser notadas del trabajo de Alfíl y Pérez es que los fondos formulados son aplicados sobre superficies, las cuales serán revestidas con base color y en el presente trabajo el fondo negro de alto desempeño aplicado sobre sustrato metálico, es la única capa presente en el sistema.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1.- PINTURA

Es un líquido compuesto por una mezcla de resinas, solventes, aditivos y pigmentos, que luego de ser aplicado sobre una superficie y al evaporarse sus solventes, seca y endurece, formando una película fina y sólida. La película de la pintura aporta dos funciones importantes, protección y decoración. La primera, como su nombre lo indica, cumple con la función de proteger a la superficie sobre la cual es aplicada del proceso de oxidación y de la acción de los factores ambientales, tales como, corrosión, humedad, calor y rayos solares. La segunda tiene como objetivo el embellecimiento de la superficie aplicada.

2.2.1.2.- Sistema completo de la pintura automotriz

Se le denomina sistema completo a aquel conformado por cristales de fosfato, e-coat, fondo, base color y transparente sobre un sustrato comúnmente de metal. A continuación se muestra una figura referencial de las diferentes partes del sistema, así como las definiciones de las mismas. (Turner, 2000)

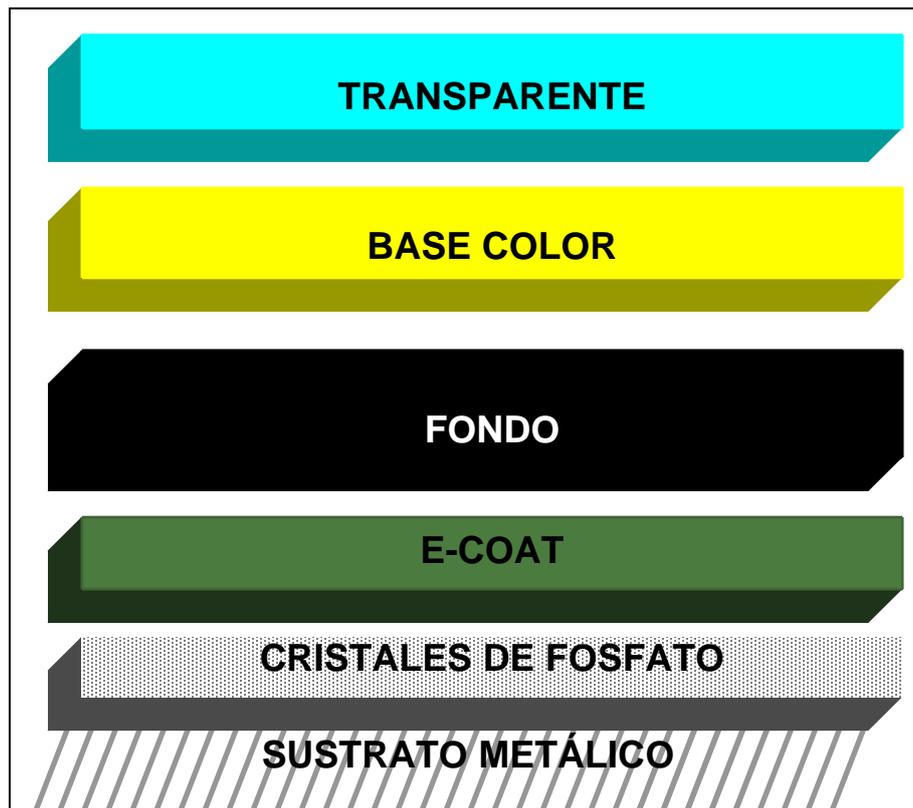


Figura 2.1. Representación del sistema completo de pintura automotriz

Fuente: Parker&Amchem, 1998

- **Sustrato:** puede ser de aluminio o acero galvanizado cuando se trata de superficies de metal y por otro lado pueden ser plástico.
- **Cristales de fosfatos:** recubren al metal con la técnica de fosfatizado, el cual es un proceso mediante el cual algunos productos químicos reaccionan con el metal base para ofrecer una barrera química contra la corrosión y como beneficio secundario aumentan la adherencia de la pintura.
- **E- coat:** es la pintura aplicada por electrodeposición con la finalidad de proteger a la superficie de la corrosión.
- **Fondo:** constituye la primera capa de pintura que provee de adhesión para las siguientes capas en la superficie donde es aplicada, también le confieren a ésta resistencia a la corrosión causada por el ambiente o por agentes químicos. Es una capa de pintura que tiene alto contenido de sólidos y es usada para rellenar posibles irregularidades que presente la superficie proporcionándole la nivelación adecuada

para que las siguientes capas sean más uniformes. Los fondos están generalmente compuestos por resinas, aditivos y solventes, que confieren al mismo propiedades tales como, promoción de la adhesión al sustrato, dureza, flexibilidad y resistencia a la corrosión.

- **Base color:** es la capa de pintura que aporta color, belleza y cubrimiento al sistema, la misma es aplicada sobre el fondo y se diferencia de este último en que su porcentaje de sólidos es menor y el sistema de resina que lo componen son del tipo poliéster-melamina.

- **Transparente:** es la capa más externa que tiene como objetivo aportar el brillo, distinción de imagen, nivelado y profundidad al color.

2.2.2.- INTENSIDAD DE MATIZ.

La intensidad de matiz mide la intensidad y el color de la luz reflejada por las partículas de pigmento en una lámina con cubrimiento completo. Para realizar esta prueba se debe mezclar una tinta blanca con la dispersión para proporcionar medidas de cubrimiento y de reflexión.

En la industria de pinturas la lectura de las láminas se realiza a través de un colorímetro metálico absoluto (MAC). El MAC es un espectrofotómetro de registros controlados por un microcomputador que mide el color reflejado por una lámina estándar y el color reflejado por una lámina de muestra. Este colorímetro determina las coordenadas L, a, b de color; las cuales se pueden representar en un diagrama como el que se aprecia en la figura 2.2.

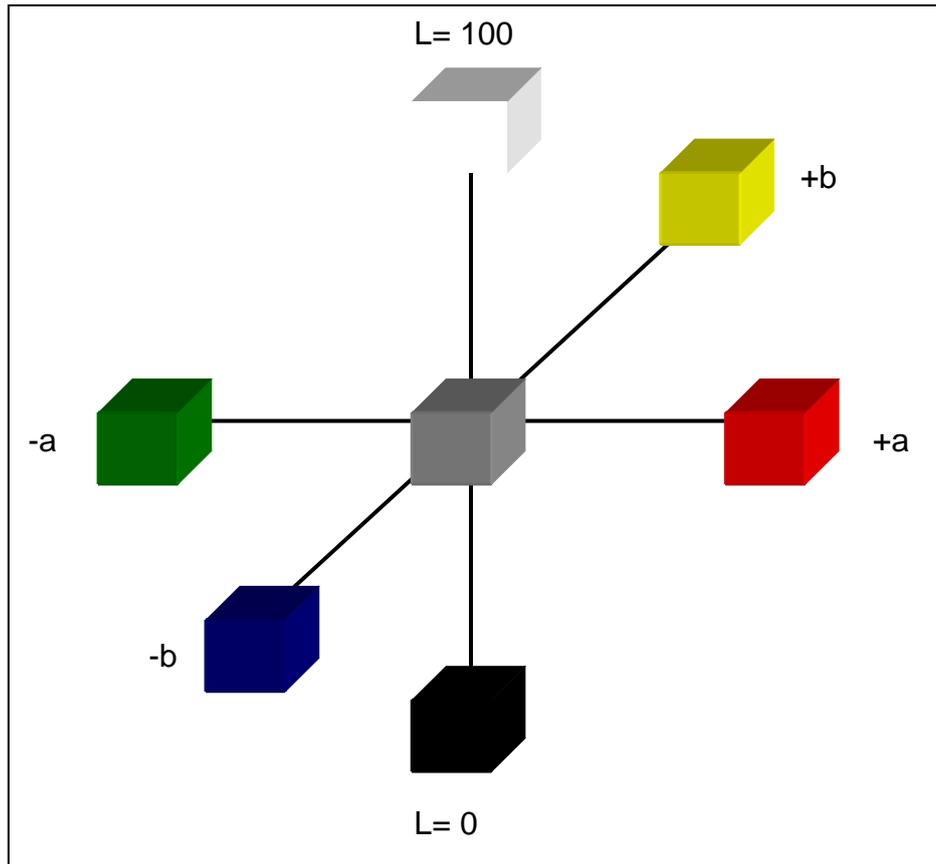


Figura 2.2.- Sistema de Coordenadas de Color CIE. Fuente: DuPont, 2002

La coordenada “L” define cuán claro o cuán oscuro es el producto. Por ejemplo, si un producto tiene un valor de “L” de 100, es blanco. Por el contrario, si un producto tiene un valor de “L” de 0, es negro. Cualquier valor de “L” situado entre estos dos, sobre el eje central, es una degradación del color negro. Las coordenadas “a” y “b” son cromaticidad de color. Si se tiene un valor de “a” negativo, es verde. Si el color de “a” es positivo, es rojo. Un producto mostrará un color amarillo azul por unas lecturas positivas o negativas de “b”, respectivamente. Mientras más alto sea el valor, más saturado en color estará el producto.

2.2.3.- MECANISMOS DE CURADO

Se utilizará el término "curado" para identificar al conjunto de fenómenos físicos y reacciones químicas que llevan a la formación de una película, en general de carácter termoestable. En cambio el término "secado" se utilizará para el conjunto de fenómenos únicamente físicos, evaporación, coalescencia, cohesión; cuyo

desarrollo genera una película termoplástico. Al curado de un determinado material puede incluir como etapa previa un proceso de secado.

2.2.3.1.- Clasificación de los mecanismos de curado

Una forma de clasificación muy utilizada, agrupa a los sistemas de recubrimientos basados en Resinas Sintéticas según el mecanismo por el que alcanzan su estado final, es decir según el proceso en el que se forma la película mediante secado o curado, y a través de las cuales se obtienen las propiedades finales del producto, que dependen del servicio que dicho producto deba cumplir.

Según la forma en que se genera la película y alcanza sus propiedades finales pueden clasificarse los distintos tipos en:

2.2.3.1.1.- Formación de película a temperatura ambiente

- Sistemas termoplásticos

Producen una película adecuada por simples fenómenos de cohesión entre las macromoléculas que conforman el vehículo. Siempre se parte del sistema en el estado fluido, ya sea en forma de una solución o de dispersión en un medio líquido adecuado. Si la composición se encuentra en un medio solvente o soporte, la condición previa a la formación de la película, es que una vez aplicado el recubrimiento, dicho medio desaparezca (se evapore). A medida que el líquido se va haciendo más concentrado en polímero (proceso de secado), se ponen de manifiesto las fuerzas de cohesión entre sus moléculas (desapareciendo las interacciones polímero-solvente) lo que finalmente llevará a la formación de la película terminada.

Durante todo este proceso no hay formación de uniones químicas permanentes entre las cadenas poliméricas. Sólo la energía cohesiva (uniones secundarias débiles) es la que mantiene a las macromoléculas unidas.

El agregado de un buen solvente producirá nuevamente la ruptura de las débiles uniones intermoleculares, llevando nuevamente a la solución original.

La aplicación de calor producirá, una vez superado un cierto umbral térmico, el suficiente movimiento molecular como para contrarrestar la energía cohesiva, logrando que el polímero vuelva a ser fluido (fusión).

- Sistemas termoestables

Alcanzan las propiedades finales a través de fenómenos complejos donde intervienen reacciones químicas intermoleculares. Al igual que en los termoplásticos, la etapa inicial está definida por la aplicación de un sistema líquido ya sea en solución, dispersión o emulsión y el pasaje del estado líquido al semisólido o sólido por evaporación de solvente. Los sistemas poliméricos que producen películas termoestables, a la inversa que en los termoplásticos, tienen la capacidad de reaccionar químicamente entre sí. Esta reacción se da entre moléculas de polímeros similares o entre polímeros diferentes con grupos reactivos complementarios.

En todos los casos se establecen fuertes uniones químicas permanentes (primarias) que evitan que el sistema revierta al estado original por agregado de solventes o aplicación de calor.

La posibilidad de cada macromolécula de establecer múltiples puntos de reacción debido a la presencia de más de un grupo reactivo por molécula (funcionalidad) genera la formación de estructuras tridimensionales con alto grado de entrecruzamiento. Esta configuración es responsable de una gran rigidez (impedimento de movimientos) y alta densidad de entrecruzamiento lo que aumenta aún más la inercia frente a la temperatura o a la acción de los solventes.

Dentro de los sistemas termoestables, curados a temperatura ambiente hay una variada gama y se pueden establecer subclasificaciones según las características de los mecanismos, a saber: Procesos de curados a través de uniones dobles que reaccionan frente a la presencia de radicales libres que se generan por diferentes mecanismos.

2.2.3.1.2.- Formación de película a alta temperatura

Secado forzado

Cuando la temperatura del ambiente no es suficientemente alta como para generar reacciones de curado, en general se debe de utilizar calor junto con circulación forzada de aire para promover la rápida evaporación de solventes. Puede utilizarse como:

- Etapa única en secado de sistemas termoplásticos.
- Coadyuvar para acortar tiempos en sistemas termoestables de curado a temperatura ambiente
- Pretratamiento en sistemas termoplásticos de curado a alta temperatura.

- Sistemas termoplásticos

Producen una película adecuada por simples fenómenos de cohesión entre las macromoléculas que conforman el vehículo. El estado fluido del sistema, necesario para la adecuada aplicación sobre determinada superficie, se logra por el proceso de fusión a temperatura elevada, que transforma al material sólido en un líquido, una vez lograda la fusión del sólido, el líquido debe presentar el mismo comportamiento, en relación con la formación de una película adecuada y su interacción con sustrato, que el que tienen los recubrimientos estándar.

- Sistemas termoestables

En todos los casos la aplicación de altas temperaturas promueve la reacción inter o intramolecular de grupos funcionales complementarios. Esta reacción llevará a la formación de la estructura entrecruzada y de muy alto peso molecular que caracteriza a los materiales termoestables.

En los sistemas de curado a alta temperatura se reconocen reacciones similares a las que se producen a temperatura ambiente y participan intermediarios con estructuras parecidas. Se incorporan algunos sistemas cuyas características

finales "solo" se alcanzan por aplicación de altas temperaturas, esto es, no hay posibilidades de que los grupos funcionales comprometidos reaccionen a temperaturas medias, ni siquiera mediante el uso de catalizadores, acelerantes o promotores de algún tipo (Berté, 2006).

2.2.4.- RESINAS

Las resinas son en su mayoría soluciones poliméricas de estructura compleja, producto de reacciones de policondensación y polimerización de radicales libres variadas. Como resultado, son productos viscosos, donde a veces el solvente de solución es un material polimerizable o en otros casos se evapora para dar lugar a reacciones de entrecruzamiento, originando compuestos termoplásticos o termoestables, dependiendo de su naturaleza.

Las resinas son una de las partes fundamentales de la pintura, ya que, aportan características de vital importancia para la calidad del producto como lo son: adhesión, brillo, flexibilidad, durabilidad, entre otros. Las resinas para recubrimientos se agrupan de la siguiente manera:

- Resinas puras
- Resinas modificadas
- Resinas híbridas
- Mezcla de resinas
- Aductos
- Prepolimeros

Resinas puras:

Sintetizadas a partir de las materias primas que se consideran propias del sistema y que la historia, la tradición o el uso, determinaron "usuales y características" de la familia.

Resinas modificadas:

En la composición intervienen monómeros que no se consideran parte del grupo primario de origen y que se incorporan para darle al polímero determinadas propiedades o reactividad.

Resinas híbridas:

Se diferencian de las Resinas Modificadas en el nivel de modificación (alta concentración de reactivo modificante) o tipo de agente modificante (monómero o polímero reactivo). Estas a su vez esta dividida en dos tipos.

- **Tipo 1:** Obtenidas por combinación de dos sistemas poliméricos (resinas). Generalmente existe una reacción química entre ambos sistemas.
- **Tipo 2:** Polímero base con un alto grado de modificación (sería en principio una resina altamente modificada).

Mezclas:

Simple mezclas de resinas compatibles entre si, a menudo puede haber operaciones físicas especiales para asegurar la mezcla íntima (a nivel molecular) de los componentes de manera de mejorar las propiedades de las mezclas.

Aductos:

Son productos de bajo peso molecular (Oligómeros) que conservan grupos reactivos capaces de combinarse con otros aductos o prepolímeros.

Prepolímeros:

Materiales poliméricos de bajo peso molecular mayor que en los oligómeros, generalmente se combinan con aductos para obtener, luego del curado, el sistema terminado.

2.2.4.1.- Resinas de poliéster:

Las resinas de poliéster se encuentran en muy diversas formas. Son materiales muy importantes como resinas para laminados, mezcla de moldeos, fibras, películas, resinas recubridoras de superficies, cauchos y plastificantes. El factor común de todos estos materiales tan distintos es la presencia de uniones tipo éster en la cadena principal.

Los poliésteres se preparan por métodos muy variados, de los cuales los más importantes desde el punto de vista técnico son los siguientes: (O dian, 2004)

1.- Autocondensación de los α -hidroxiácidos, que es el método menos importante comercialmente.



2.- Condensación de compuestos polialcohólicos con ácidos poli carboxílicos, por ejemplo un glicol con ácido bicarboxílico.



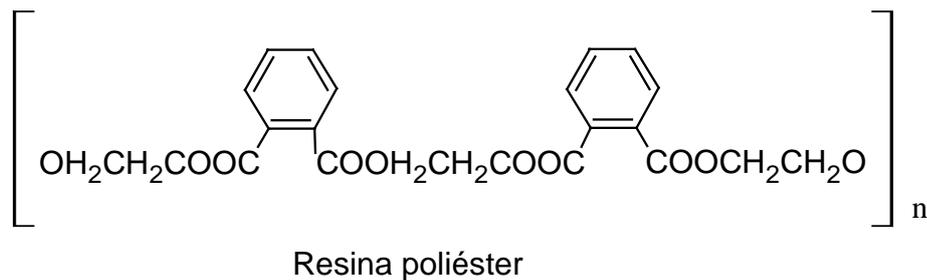
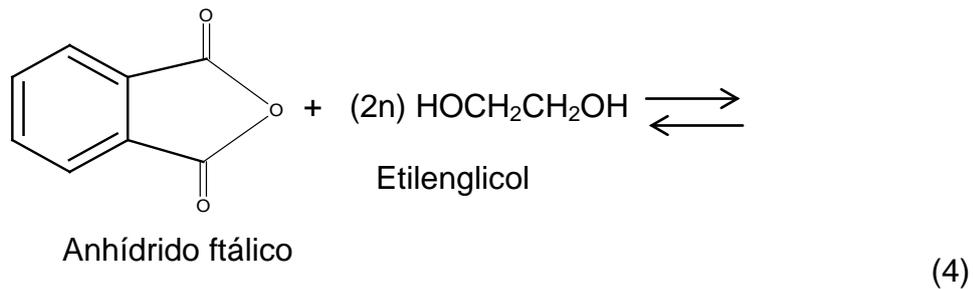
3.- Intercambio de la función éster (transesterificación).



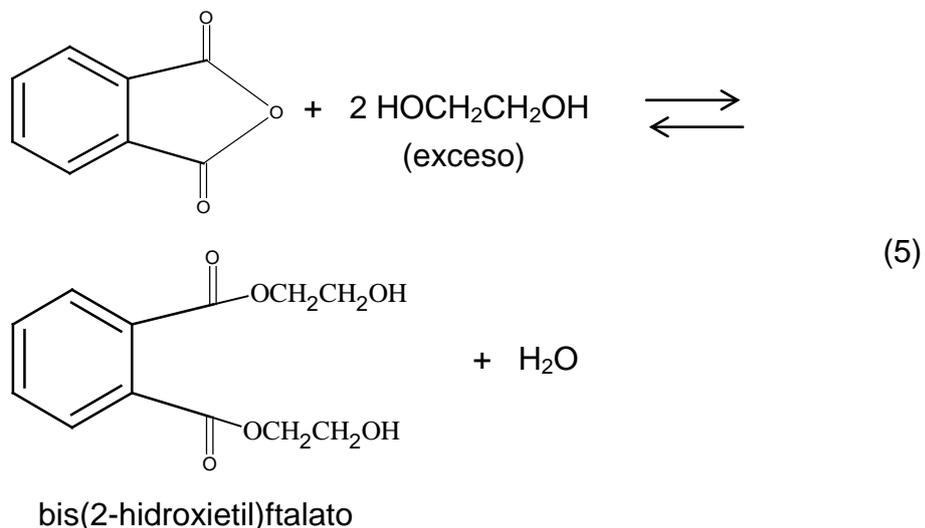
Las resinas poliéster utilizadas en recubrimientos pueden obtenerse a partir de la reacción de un polialcohol, generalmente el etilenglicol, con un ácido polibásico; los ácidos más empleados son: el ftálico, y los ácidos grasos procedentes

de diversos aceites como el de linaza, el de soja y el de Tung. Siguiendo el esquema de reacción número 2, y considerando al etilenglicol y el anhídrido ftálico como los reactivos para dicha reacción, se tiene:

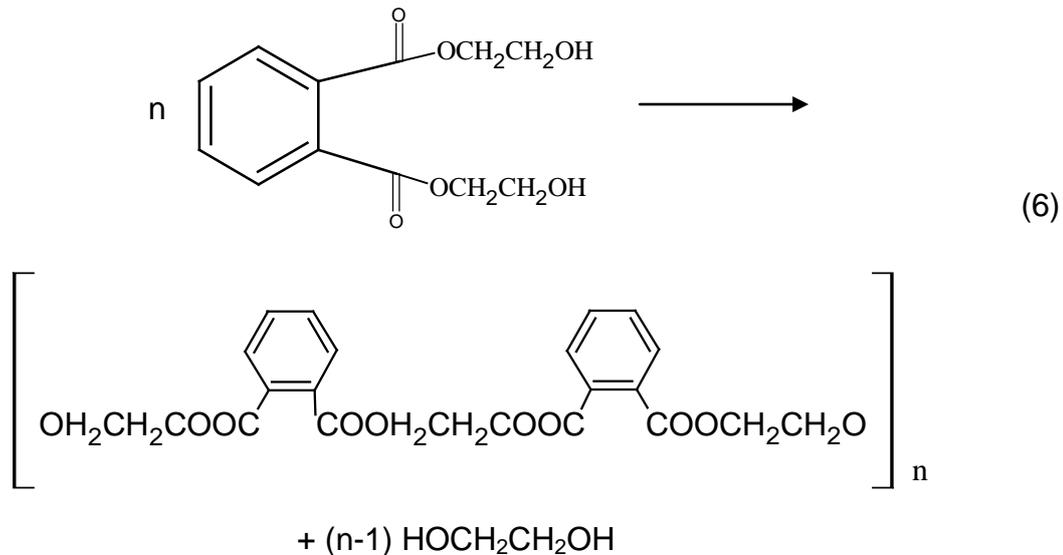
Reacción general



La reacción general para la obtención de poliésteres corresponde a una esterificación, pero el mecanismo para que ocurra la polimerización se lleva a cabo en dos reacciones. La primera es una reacción de esterificación (reacción N° 5), en donde el etilenglicol se encuentra en exceso y al reaccionar con el anhídrido ftálico se produce el bis(2-hidroxietil)ftalato y agua.



La segunda reacción es una transesterificación (reacción N° 6) en donde el producto de la reacción anterior reacciona “n” veces para formar el polímero como tal. Tanto el ácido como el anhídrido ftálico participan en una reacción de sustitución nucleofílica al grupo acilo para la obtención de la resina. (Wade, 2004).



2.2.4.2.- Resinas alquídicas:

Una Resina alquídica es básicamente un poliéster cuya cadena principal está modificada con moléculas de ácido graso, las que le otorgan propiedades particulares. Dentro del criterio de clasificación propuesto, se define a las moléculas de ácido graso como "modificantes primarios" de la estructura principal (poliéster). "alquídicas puras", se define como el polímero formado únicamente por la combinación del anhídrido ftálico como diácido, glicerina ó pentaeritritol como polioles y ácidos grasos saturados ó insaturados como modificantes primarios. "alquídicas modificadas", así se denomina la resina alquídica en cuya composición intervienen compuestos diferentes a los que participan en alquídicas puras, como por ej. polioles y poliácidos especiales, monoácidos, compuestos, fenólicos, epoxídicos, acrílicos, vinílicos, silicónicos, etc.

Dentro de los modificantes se tienen:

- Primarios: los ácidos grasos que modifican la estructura poliéster.
- Estructurales: los poliácidos y polioles que forman la estructura poliéster y son distintos del ftálico, glicerina ó pentaeritritol.

2.2.4.2.1.- Clasificación de las resinas alquídicas

Existen varias formas de clasificar a las resinas alquídicas entre ellas se encuentran: (Berté, 2006)

- **Proceso directo:** en lugar de utilizar aceites naturales se parte directamente de los ácidos grasos. Al no ser necesario desdoblar el aceite, la síntesis es más sencilla y se realiza en única etapa. La reacción entonces es una esterificación directa.
- **Proceso vía alcoholisis:** a partir de aceites naturales. Para incorporar el aceite será necesario transformarlo en un material capaz de intervenir en las reacciones de polimerización - esterificación. Esta transformación se lleva a cabo a través de un proceso de transesterificación previo a la esterificación, denominado comúnmente alcoholisis
- **Proceso Vía ácido graso o aceite:** según sea la forma en que se presentan los ácidos grasos - Directo ó Alcoholisis. El aporte de ácidos grasos, modificantes de la cadena poliéster puede provenir de aceites naturales, en este caso también se incorpora glicerina como componente del triglicérido ó bien puede resultar del uso de ácidos grasos, como tales, naturales ó sintéticos.
- **Según el tipo de aceite:** determinado por la composición en ácidos grasos del triglicérido, en un proceso vía aceite ó por el tipo de ácido graso, en un proceso vía ácido graso. (saturados y no saturados). Los aceites y por extensión los ácidos grasos derivados se clasifican en:
 - No secantes: el aceite seleccionado ó la mezcla de ácidos grasos derivada, contienen un número muy bajo de dobles uniones ó no las contienen en absoluto.

- Semisecantes: el aceite ó mezcla de ácidos grasos correspondientes contiene un número de dobles ligaduras adecuado, pero no el suficiente como para ser caracterizada como “secante”.
- Secantes: formuladas con aceites o ácidos grasos, ricos en dobles ligaduras.

2.2.4.3.- Resinas epóxicas

El primero, y en la actualidad el procedimiento más importante para preparar las resina epoxi, es la reacción del bis-fenol A con la epiclorhidrina. El bis-fenol A se prepara por reacción de la acetona con el fenol. Siendo la acetona y el fenol productos fácilmente disponibles, este producto intermedio es comparativamente económico. Esta es la razón principal de que el bis-fenol A sea el producto fenólico preferido para la fabricación de las resinas epoxi. Aunque las propiedades de las resinas con entrecruzamientos dependen en gran parte del sistema de curado, puede decirse, en líneas generales que los aspectos más sobresalientes de estas resinas son la rigidez, la pequeña contracción de volumen durante el curado, la gran adhesión a numerosos sustratos, buena resistencia a la álcalis y versatilidad de los sistemas de curados disponibles. El uso más importante de estas resinas son los recubrimientos de superficies. Para este fin se pueden mezclar con otras resinas, como las poliésteres o alquídicas y de esta manera mejorar las propiedades de adhesión, resistencia química y flexibilidad.

El entrecruzamiento de resinas epóxicas puede ser llevado a través de las unidades repetitivas de los grupos hidroxilos o a través de los grupos epoxi. El agente común de curado es el anhídrido ftálico, aunque otros como el tetrahidroftálico se utilizan en aplicaciones especiales. Las propiedades térmicas de las resinas dependen del grado de entrecruzamiento, la flexibilidad de la molécula de resina y la flexibilidad de la molécula del endurecedor. (O dian, 2004)

2.2.5.- DISPERSIÓN

La dispersión de un pigmento es un proceso físico en el cual se producen una serie de etapas al mismo tiempo que conducen a la disgregación de los aglomerados presentes, a su humectación por la resina y a la distribución uniforme de las pequeñas partículas en la mezcla. El éxito de la utilización de un pigmento depende en gran parte del nivel de dispersión alcanzado en el medio que se incorpora.

No obstante, cabe destacar a la etapa previa a la dispersión, que consiste en la premezcla de todos los componentes. Por razones puramente estadísticas, el reparto homogéneo de una pequeña cantidad de pigmento se facilita si se toma la precaución de efectuar una buena mezcla antes de proceder a la dispersión propiamente dicha. Esta premezcla es frecuentemente acompañada de una prehumectación e incluso de un principio de dispersión según la naturaleza de los mezcladores utilizados. Atendiendo al principio por el que se obtiene la mezcla se pueden clasificar en cuatro grupos: de caída libre, de empuje, de lanzamiento y los basados en fuerza centrífuga. Se trata generalmente de mezcladores giratorios que trabajan a diferentes velocidades.

Se considera que hay tres etapas en el proceso de dispersión:

1.- Humectación del pigmento, que involucra el desplazamiento del aire que se encuentra en las superficies de las partículas en los grumos de pigmento. En este proceso, la capa de aire es reemplazada por una capa monomolecular del medio ligante.

2.- Desagregación y desaglomeración, es la segunda etapa de la dispersión, donde las partículas de pigmento ya mojadas, son rotas en pequeñas partículas, normalmente acompañado de energía mecánica. Durante esta etapa la cantidad de vehículo libre disminuye, por lo tanto, la viscosidad de la dispersión aumenta. A altas velocidades el esfuerzo cortante es mayor y la separación de partículas se vuelve más eficiente.

Este proceso de dispersión requiere de energía. Algunos pigmentos han sido desarrollados para ayudar en la reducción de energía; tales pigmentos son elaborados con un tratamiento en la superficie, con el propósito de reducir o inhibir la aglomeración. La mayoría son específicamente para tintas, pinturas, recubrimientos o plásticos.

3.- Estabilización: cuando hay ausencia de fuerzas repulsivas, las partículas dispersas tienen la tendencia natural a reducirse, en número, debido a las fuerzas atractivas. La reducción en el número de partículas es denominada floculación. La función principal de un dispersante es mantener estas partículas dispersas en el estado defloculado. Si la dispersión no ha sido estabilizada, la floculación puede ocurrir como resultado de la aglutinación de partículas de pigmento. La floculación es generalmente un proceso reversible y la misma se puede reducir o eliminar mediante el uso de resinas; cuando aun así persiste, se puede usar surfactantes o dispersantes poliméricos.

Durante el acercamiento entre dos partículas, de pigmento dispersadas, existen tanto fuerzas repulsivas como atractivas. Las atractivas son:

- London - Van der Waals: fuerzas intermoleculares resultantes de las interacciones de los dipolos de las partículas. Son las fuerzas atractivas dominantes en las dispersiones coloidales. Son fuerzas más débiles y, sus propiedades dependen de las partículas y del medio de dispersión
- Puente hidrógeno: que es una atracción intermolecular especialmente fuerte entre un par no enlazante de electrones e hidrógeno electrofílico de los grupos OH ó NH y actúan a distancia menor que las de London - Van der Waals pero son más fuertes.
- Fuerzas atractivas electrostáticas o Coulombicas: asociadas a cargas opuestas en las superficies de las partículas.

2.2.5.1.- Estabilización por carga.

Se debe a la repulsión de fuerzas eléctricas, que es el resultado de cargar eléctricamente una doble capa alrededor de la partícula. La doble capa de cargas eléctricas desarrollada alrededor de las partículas se alarga en el medio, y como las partículas están rodeadas por la misma carga que puede ser positiva o negativa, se repelen unas con otras cuando se acercan, lo cual permite que la partícula esté dispersa en el medio.

2.2.5.2.- Estabilización estérica.

Las capas de polímero adsorbidas sobre las partículas de pigmento crean una barrera estérica. Los siguientes factores son importantes en la efectividad de la estabilización estérica:

- Estructura de la capa adsorbida.
- Espesor de la capa adsorbida.
- Segmento adsorbido preferentemente y su densidad de adsorción

Las moléculas de polímero son adsorbidas en la interfase sólido/líquido. De estas moléculas, algunas partes son adsorbidas sobre la superficie de la partícula de pigmento y otras partes de la misma molécula son solvatadas por el medio. El espesor de la capa adsorbida determina la estabilidad, para obtener suficiente estabilización por adsorción del polímero, la parte no adsorbida de la molécula debe estar perfectamente solvatada; si este no es el caso, el espesor de la capa decrece y las partículas flocularán. (Bas, 1990).

2.2.6.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

El diseño de experimentos es una técnica estadística que proporciona una estructura rigurosa y universal para planear, ejecutar y analizar experimentos. El DOE es un enfoque usado para identificar los factores o pasos que más contribuyen a la generación de variaciones dentro del producto. El DOE se enfoca en identificar

los factores que afectan el nivel de respuesta de un producto o proceso a determinados agentes, a fin de generar un modelo matemático predictivo.

Un enfoque estadístico para un experimento permite, de una forma ordenada coleccionar, analizar e interpretar datos para alcanzar los objetivos en estudio. Mediante el uso de la estadística en un diseño de experimentos se puede obtener la máxima información a cerca de las características de los factores considerados a un costo y tiempo mínimo.

El DOE permite optimizar un proceso para todas sus salidas críticas, obteniendo un mejor ajuste para alcanzar las metas, una vez que existe una previsión del modelo. El diseño de experimentos permite estudiar simultáneamente los efectos individuales e interacciones de muchos factores. Existen diversas terminologías que se manejan en la metodología de diseño experimental, estas son:

- **Respuestas:** es un indicador que mide el objetivo trazado y viene determinado por una combinación predeterminada de factores con unos niveles establecidos.
- **Factor:** es toda variable cuya influencia se considera significativa sobre la respuesta. Se debe analizar cuales son los factores claves que influyen de forma relevante en la respuesta para incorporarlos en los diferentes experimentos.
- **Nivel:** son los valores reales donde se colocan los factores para realizar el experimento.
- **Tratamientos:** son las combinaciones posibles entre los diferentes niveles de los factores.
- **Repeticiones:** es la cantidad de repeticiones realizadas para cada tratamiento del experimento.
- **Efecto:** valor numérico que cuantifica la influencia que tiene un determinado factor sobre la respuesta.

El DOE ofrece diversas ventajas, las cuales son:

- Reducir los costos asociados a la no calidad.
- Aumento de la productividad.
- Elegir los ensayos sobre bases científicas para detectar los efectos de los parámetros y cuantificarlos.
- Permite la equivalencia de diseños para diferentes experimentadores, es decir, ambos llegan a las mismas conclusiones.
- Intervenir a ciencia cierta en los procesos para lograr su optimización, corrección y mejoramiento, a través de la obtención de los puntos técnicos y operativamente óptimos.

Un diseño experimental consta de dos fases:

- 1.- Diseño de Experimentos: consiste en el desenvolvimiento de una estructura para una manipulación experimental de variables (factores) en su ejecución.
- 2.- Procedimiento analítico: proceder a extraer la información relevante obtenida del experimento. (Sampieri, 2003)

2.2.6.1.- Metodología Taguchi

Éste método se basa en los estudios realizados por el Dr. Tagushi, el cual desarrollo nuevos métodos para optimizar los procesos de experimentación en ingeniería, utiliza técnicas que implican bajos costos y que son aplicables a los problemas y requerimientos de la industria moderna. El propósito que se tiene en el diseño del producto es encontrar aquella combinación de factores que nos proporcione el desempeño más estable y confiable al precio de manufactura más bajo.

Taguchi empleó experimentos de diseño usando especialmente una tabla conocida como “arreglos ortogonales” para tratar los procesos de diseño. Los arreglos ortogonales son un conjunto especial del diseño del producto. El análisis del diseño óptimo del proceso, con el mínimo número de experimentos.

Los resultados obtenidos para los arreglos ortogonales son analizados para obtener los siguientes objetivos:

- Estimar la contribución de los factores individuales que influyen en la calidad en la etapa del diseño del producto.
- Ganar la mejor condición para un proceso o un producto, así que las características en una buena calidad puedan ser sostenidas.

Los métodos estadísticos deben seleccionar los factores importantes que afectan el diseño. Taguchi establece su metodología para:

- Diseñar productos y procesos robustos a las condiciones ambientales.
- Diseñar y desarrollar productos robustos a la variación en sus componentes.
- Minimizar la variación alrededor de una valor objetivo.

Para el análisis de los resultados Taguchi clasifica los distintos problemas de diseño de parámetros dependiendo del objetivo que se quiere obtener con la respuesta (minimizarla, maximizarla u obtener un valor nominal) y dependiendo de la categoría calcula un índice, llamado cociente señal-ruido, S/R, para medir la variabilidad inducida por los factores ruido. En la siguiente tabla se indica la expresión algebraica de estos índices.

TABLA 2.1
COCIENTE SEÑAL-RUIDO, S/R

Objetivo para el valor de la respuesta	S/R
"menor es mejor"	$-10\log\left[\frac{1}{n} \cdot \sum Yi^2\right]$
"mayor es mejor"	$-10\log\left[\frac{1}{n} \cdot \sum \frac{1}{Yi^2}\right]$
"nominal es lo mejor"	$10\log(\bar{Y} / s^2)$

Otra forma de medir la pérdida de la calidad es a través de la **función de pérdida** de no calidad y centra el análisis en minimizar esta función, que representa la pérdida financiera en que se incurre por no cumplir con el objetivo que tiene la característica de calidad. El minimizar la función de pérdida es equivalente a maximizar el cociente S/R respectivo. (Adams, 2004)

2.2.6.2.- Análisis de Varianza, ANOVA

El procedimiento de análisis de varianza, utiliza una sola variable numérica medida en los elementos de la muestra, para probar la hipótesis nula de la igualdad de medias poblacionales. Esta variable puede ser de intervalo o de escala de razón. Esta variable algunas veces recibe el nombre de variable dependiente, en especial en programas de computadora que ejecutan ANOVA.

La hipótesis nula que se prueba en ANOVA es que la mayoría de las poblaciones que se estudian (al menos tres) tienen el mismo valor de la media para la variable dependiente.

Una de las opciones estadísticas de mayor importancia que ofrece el procedimiento de análisis de varianza es el valor "P", el cual es comparado con el valor " α " o nivel de significancia, que tiene un valor de 0,05. Sí el valor "p" es menor o igual al valor " α ", se puede asumir que hay diferencia entre los resultados analizados y por ende la variable en estudio genera un efecto sobre la variable respuesta. Sí "p" es mayor que " α ", los resultados que están siendo analizados no son significativamente diferentes. (Anderson, 1999)

2.2.7.- MINITAB (versión 14)

El Minitab (versión 14) es un software estadístico que ofrece herramientas precisas y fáciles de usar para aplicaciones estadísticas generales y especialmente para control de la calidad; además provee un amplio rango de análisis de datos y capacidad para realizar gráficos. El MINITAB ofrece la combinación ideal de capacidad, precisión y comodidad para ayudar a realizar de mejor manera la tarea. El software ofrece:

- Capacidades de estadísticas comprensivas, incluyendo el análisis de datos exploratorios, estadística básica, regresión, análisis de varianza, series de tiempo, tabulaciones, simulaciones y distribuciones.
- Alta resolución de gráficos para una presentación de calidad, completamente editables, y con capacidad de identificar puntos en los trazos de la misma.
- Garantía de calidad y el mejoramiento de las opciones.

El MINITAB es el único paquete que ofrece todos los métodos estadísticos adecuados. Teniendo entre sus características principales: cálculos estadísticos básicos y avanzados, regresión, ANOVA, DOE (diseño de experimentos), análisis de fiabilidad, entre otros.

La facilidad de uso, precisión y cantidad de métodos disponibles convierten al Minitab en el software preferido para análisis estadístico. En la siguiente figura se muestra la ventana principal del programa.

Figura 2.3 Ventana principal del Software Minitab 14

2.2.8.- COSTOS

El costo es un recurso que se sacrifica o al que se renuncia para alcanzar un objetivo específico. El costo de producción es el valor del conjunto de bienes y esfuerzos en que se ha incurrido o se va a incurrir, que deben consumir los centros fabriles para obtener un producto terminado, en condiciones de ser entregado al sector comercial. Entre los objetivos y funciones de la determinación de costos, encontramos los siguientes:

- Servir de base para fijar precios de venta y para establecer políticas de comercialización.
- Facilitar la toma de decisiones.
- Permitir la valuación de inventarios.
- Controlar la eficiencia de las operaciones.
- Contribuir a planeamiento, control y gestión de la empresa

Los costos según el tipo de variabilidad pueden ser clasificados en:

- **Costos variables:** son aquellos costos que varían en proporción directa a los cambios que se generan dentro de las condiciones de la elaboración del producto, está constituido por los costos operativos, estos costos incluyen todos los desembolsos que se requieren para que el proyecto una vez puesto en marcha continúe operando normalmente y comprenden: Costos de materia prima, costos de tiempo de carga y premezcla y los costos de tiempo de molienda.
- **Costos fijos:** son los que permanecen inalterados dentro del contenido de elaboración del producto, comprende los costos por depreciación, financiamiento, amortización. (Ivnisky, 2007)

2.2.8.1.- Precio de venta.

El precio es el elemento de la mezcla de marketing que produce ingresos; los otros producen costos. El precio también es uno de los elementos más flexibles: se puede modificar rápidamente, a diferencia de las características de los productos y los compromisos con el mercado. Determinando el costo unitario, es necesario fijar el margen de utilidad que se desea lograr, el cual generalmente se basa en el criterio de la dirección de la empresa, para formar de esta manera el precio de venta. Muchas veces se determina considerando algunos factores como: el precio unitario, el precio de la competencia, y la calidad del producto. También, para establecer el precio de los diferentes productos, se toman en consideración los siguientes aspectos:

- Precios actuales en el mercado de productos similares.
- Precios actuales en el mercado de productos sustitutos.
- Obtención de ganancias suficientes para cubrir los compromisos adquiridos.

La ganancia neta o “Gross Profit” es el ingreso luego de deducir todos los costos de material o mercancías, fuerza laboral y costos fijos, pero antes de ventas y costos administrativos. El mismo se determina como el cociente entre los costos operativos y el porcentaje de ganancia que se estima para el producto. La fórmula es la siguiente:

$$Gross_Profit = \frac{Costo\ variable}{100 - ganancia} \quad (I) \quad (Ivnisky, 2007)$$

2.2.8.2.- Indicadores económicos.

Son herramientas para clarificar y definir de forma precisa objetivos e impactos, como una medida verificable del cambio o resultado, diseñadas para contar con un estándar contra el cual evaluar, estimar o demostrar el progreso con respecto a metas establecidas (Mondagron, 2002).

Uno de los estimadores por excelencia que se utiliza para la determinación del progreso o ganancia de un proyecto es la relación costo-beneficio. Es un método

cuantitativo cuyo objetivo es determinar si los beneficios obtenidos superan sus costos y cuánto. Se requieren cuatro pasos para calcular esta relación:

1. Determinar qué ha variado en virtud del diseño.
2. Expresar los cambios en unidades monetarias, es decir cuantificar.
3. Determinar el costo para implantar los cambios
4. Dividir el costo entre el beneficio, la razón menor determina la mejor solución.

(Sociedad Latinoamericana para la Calidad, 2000).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se presenta el tipo de investigación a realizar, además del diseño de la investigación fundamentado en las respectivas actividades que se desarrollarán para el cumplimiento de los objetivos planteados

Según los objetivos planteados, la investigación a nivel de profundidad es de un tipo proyecto factible, el cual consiste en la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible a un problema de tipo práctico para satisfacer necesidades de una institución o grupo social (Sampieri R., 2004).

El diseño de la investigación es de tipo experimental, ya que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre otras variables dependientes (Sampieri R., 2004).

Es por ello que a lo largo de la investigación se realizarán modificaciones y sustituciones en las resinas y en la mezcla de solventes en el caso de la formulación de la dispersión y en la resina o mezcla de resinas únicamente para la elaboración del fondo, manteniendo constante los otros componentes en ambos casos, para posteriormente evaluar las especificaciones del producto a fin de que reúnan las exigencias provenientes de los clientes o usuarios del mismo.

3.1.- DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE FONDOS MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DIRECTA

3.1.1.- Revisión bibliográfica de los procedimientos de laboratorio y seguridad de la empresa.

Se realizó la lectura de los métodos y procedimientos de laboratorio establecidos en el programa de inducción para el personal nuevo, con la finalidad de conocer los lineamientos generales por los cuales se rigen los trabajadores que

laboran en las diferentes áreas de la planta, todo ello afianzado sobre los principios de seguridad, higiene y salud ocupacional.

3.1.2.- Observación de los procedimientos y métodos usados en el laboratorio de desarrollo

Una vez culminada la etapa de revisión bibliográfica de cada uno de los procedimientos establecidos en la inducción al nuevo personal, se procedió a la observación directa de las actividades desempeñadas por los técnicos del laboratorio de desarrollo, resaltando entre ellas la aplicación de las técnicas de medición más comunes, tales como, preparación de pilotos, medición de viscosidad (copa Ford y copa Fisher), aplicación de láminas en cabinas mediante pistola de succión o presurizada, verificación de brillo, dureza, espesor, flexibilidad y adhesión.

3.1.3.- Entrevistas con el personal de laboratorio para lograr la identificación del proceso

Se procedió a realizar una serie de preguntas de manera aleatoria, a un total de 10 personas, entre los que se encuentran los técnicos de laboratorio, químicos asesores y especialistas en el área de dispersión y preparación de fondos, con la finalidad de conocer y profundizar en cada uno de los temas de interés; cabe destacar que las entrevistas realizadas siguieron el esquema que se presenta en el Apéndice A.

3.1.4.- Observación directa de las áreas y de los equipos involucrados en el proceso de dispersión y elaboración de fondos

Una vez obtenido los conocimientos previos a los procesos de interés, se realizaron visitas en el área de dispersión, observándose los diferentes tipos molinos que se usan según el pigmento, posterior a ello, se hizo una visita en cada una de las partes que comprende el proceso de preparación de fondos, identificándose las etapas de carga exacta de los materiales en los tanques de agitación, puesta en marcha de los tanques, verificación de las propiedades por el laboratorio de calidad y finalmente descarga del producto final.

3.1.5.- Revisión de la formulación actual de la dispersión y el fondo negro de alto desempeño

Con ayuda del personal técnico del laboratorio de desarrollo y con el uso del software correspondiente al inventario de productos, se obtuvieron las listas de componentes de la base negra actual (dispersión negra) y los elementos que se encuentra en la formulación del fondo negro de alto desempeño.

3.2.- ESPECIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN NEGRA Y EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

3.2.1.- Conocimiento de las propiedades a evaluar en la dispersión y en el fondo negro de alto desempeño

Se realizó una revisión de los planes de inspección que se encuentran en el sistema, con la finalidad de conocer cuales son las propiedades a evaluar una vez que se han elaborado los productos, tanto en la dispersión de la base negra como el fondo negro de alto desempeño.

3.2.2.- Conocimiento de los métodos y procesos de elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos

A través de la observación directa del área de dispersión se pudo visualizar y obtener los conocimientos necesarios sobre la elaboración de las bases o dispersiones y de los molinos que se utilizan en la fabricación de dichos productos. Para el caso de la elaboración de fondos se observó la secuencia que sigue la formulación de los mismos, partiendo de los ensayos de laboratorio así como la preparación de la mezcla en los tanques de agitación en el área de producción por parte del personal de carga exacta.

Al conocer las propiedades a evaluar en la dispersión y en el fondo negro de alto desempeño se saben cuales son los métodos para la aplicación y evaluación de ambos productos.

3.2.3.- Familiarización con los diferentes equipos que se utilizan para la elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos

Se procedió a realizar una serie de ensayos prácticos con los diferentes equipos de medición, elaboración y aplicación comprendidos en los procesos, con la finalidad de adquirir la destreza necesaria para el manejo eficaz de los mismos.

3.3.- DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

3.3.1.- Identificación de los factores que afectan la calidad del producto

Por medio de entrevistas con el personal técnico del laboratorio y químicos asesores que tienen conocimiento en el producto (Apéndice A), se logró conocer cuales son los factores de mayor efecto en el proceso de elaboración del fondo negro de alto desempeño partiendo de la dispersión negra hasta la aplicación del sustrato metálico.

3.3.2.- Elaboración del diagrama Causa – Efecto general

Se realizó una tormenta de ideas de todas las posibles causas que afectan el proceso de elaboración del fondo negro de alto desempeño considerando las condiciones de operación del mismo, la cual fue generada a través de las ideas aportadas por el personal técnico y químicos asesores en las entrevistas y a través del conocimiento obtenido mediante la observación y familiarización con el proceso de fabricación del producto.

3.3.3.- Establecimiento de los rangos de valores más adecuados para las variables de salida

Para el establecimiento de los rangos de valores entre los cuales serán evaluadas las propiedades de las dispersiones y los fondos que se elaboren, se utilizaron los valores límites que aparecen en los planes de inspección tanto de la dispersión negra y del fondo negro de alto desempeño.

3.4.- OBTENCIÓN DE PROPUESTAS QUE PERMITAN LA ADECUADA SELECCIÓN DE LA RESINA A SUSTITUIR EN LA DISPERSIÓN Y EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

3.4.1.- Revisión y selección de la metodología experimental a emplear

Mediante la revisión de diversas bibliografías asociadas con métodos y diseños experimentales y a través de consultas con personas expertas en la materia se logro conocer cuales eran las posibles metodologías aplicables a la investigación, entre las que se encuentra el diseño tipo Factorial o el diseño tipo Taguchi. Posterior a ello, se seleccionó la más adecuada en función de las limitaciones y alcances que las mismas presentan en su diseño, con respecto al número de factores que pueden ser tratados en éstos.

3.4.2.- Creación del diseño experimental (DOE) para verificar el estado actual de las variables que participan en el proceso de dispersión.

3.4.2.1.- Selección del DOE

Para la ejecución del diseño experimental se utilizó el programa MINITAB, y a través de la siguiente ruta se muestran los pasos a seguir para la obtención del mismo.

- Una vez abierto el programa se sigue el siguiente camino: Stat > DOE (Diseño de Experimentos) > Taguchi > Create Taguchi Design (Crear diseño Taguchi)

Figura 3.1. Selección del diseño de experimento (DOE) en Minitab

3.4.2.2.- Establecimiento del número de factores, niveles y tipo de diseño del DOE

Para el presente diseño se utilizaron 4 factores y 3 niveles correspondientes a las variables que influyen en el proceso y los valores reales a los que serían evaluados dichos factores. Las variables y sus niveles pueden ser visualizadas en la siguiente tabla.

TABLA 3.1
FACTORES Y NIVELES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DOE 1

Factores o Variables controladas	Niveles
Tiempo de premezcla (min)	30; 45; 60
Proporción de resina (%)	35; 50; 75
Proporción de solvente (%)	50; 75; 100
Mezcla de solventes	Ste-1/Ste-2; Ste-1/Ste-3; Ste-2/Ste-3

Nota: la especificación de la mezclas de solventes pueden observarse en el apéndice D.

La ruta para la especificación de las mismas es la siguiente:

- Una vez definido el diseño Taguchi, éste ofrece un recuadro donde se debe de especificar el número de factores, niveles y diseño, es decir 4 factores y 3 niveles. En la figura que aparece a continuación se muestra dentro de los óvalos, las selecciones realizadas.

Figura 3.2. Especificación del número de niveles y número de factores

- En el ítem Designs (Diseño), se debe de especificar el tipo de diseño que se desea utilizar, esto referente al número de experimentos a realizar, bien sea un total de 9 corridas experimentales o un total de 27 experimentos, para el desarrollo del diseño experimental basado en la metodología Taguchi.

Figura 3.3. Especificación del tipo de diseño a usar para el DOE

3.4.2.3.- Definición de parámetros necesarios para el diseño

Una vez seleccionado el DOE y asignado el número de factores, niveles y tipo de diseño, se deben de colocar las especificaciones necesarias relacionadas con las variables controladas o aquellas que generan un efecto sobre las variables de salida. La especificación de las mismas, consiste en colocar los nombres de los factores y niveles que aparecen en la tabla 3.1. A continuación se muestra la ventana del software Minitab, una vez que han sido definidos dichos parámetros.

Figura 3.4. Especificación de las variables del DOE

3.4.2.4.- Generación del DOE

Con los datos del DOE ya completados, el siguiente paso que se crea automáticamente es la generación del DOE, que es la representación del número de experimentos y combinación de niveles ajustados a la programación interna del Software referido, en este caso a la metodología Tagushi. La visualización del mismo se muestra a continuación.

Figura 3.5. Generación de DOE

3.4.3.- Desarrollo del diseño experimental (DOE)

3.4.3.1.- Preparación de los materiales

Se seleccionaron y cuantificaron las materias primas a utilizar, resinas, pigmentos, solventes y aditivos y se verificó la existencia y cantidades requeridas de las mismas en el inventario del laboratorio y si era el caso se realizaba la solicitud al almacén de materias primas o al departamento de carga para el despacho de la misma.

3.4.3.2.- Preparación de los equipos

Para la realización del presente diseño se utilizó un montaje que comprende a un mezclador y su soporte, mangueras, válvulas reguladoras, filtros y toma de aire respectivamente. También se usó el equipo para medir viscosidad Storer y se siguió la metodología para la medición de intensidad de matiz con aplicación de la base en cabina con pistola succión. Los procedimientos internos basados en las normas ASTM, para operarlos pueden visualizarse en el apéndice B. En la siguiente figura se pueden observar los equipos que conforman el montaje del diseño experimental 1.

Figura 3.6. Equipos que conforman el montaje del DOE 1. (a) Soporte universal, (b) mezclador tipo hélice, (c) válvula reguladora de flujo, (d) manguera y (e) conexión para tomas de aire.

3.4.3.3.- Realización de los experimentos

Según el paso 3.4.2.4 el diseño experimental 1, comprende 27 experimentos en los cuales se manipularon 4 variables: tiempo de premezcla, proporción de resinas, proporción de solventes y mezcla de solventes. Se siguió el esquema planteado partiendo desde el experimento N° 1 hasta completar la totalidad de los mismos.

3.4.3.4.- Recolección y vaciado de datos

Para el presente diseño se midieron las siguientes variables: viscosidad Stormer e intensidad de matiz (medición del nivel claro-oscuro “L”). Dichas variables fueron recolectadas para cada uno de los experimentos y fueron vaciadas en formato digital para su posterior uso en el programa minitab. La tabla de datos puede visualizarse en el capítulo IV. La ruta para copiar los datos recolectados es la siguiente:

- Se abre el archivo correspondiente al DOE, y en el mismo se transcriben los datos recolectados del diseño en general.

Figura 3.7. Vaciado de datos en Minitab

3.4.4.- Análisis del Diseño Experimental (DOE)

3.4.4.1.- Análisis gráfico de las variables de salida viscosidad e intensidad de matiz en función del tiempo de premezcla, proporción de resinas, proporción de solventes y mezcla de solventes

Para el análisis gráfico con el programa Minitab se sigue el siguiente esquema de pasos.

- En la barra de herramientas se sigue la secuencia de comando: Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi design

Figura 3.8. Generación del análisis gráfico del DOE

- En la ventana “Define Custom Taguchi Design”, se deben de especificar los factores a analizar haciendo doble click sobre los factores: resina, tiempo de premezcla y proporción de resina y de solvente.

Figura 3.9. Selección de los factores a ser analizados

- Con un click en la opción “OK”, aparecerá otra ventana donde se debe de especificar la variable de salida, es decir la intensidad de matiz “L”.

Figura 3.10. Selección de la variable de salida

- Seleccionando el comando “OK” que aparece en la figura anterior, se generan las graficas de las variables de entradas en función de las de salida.

3.4.4.2.- Análisis de la Varianza (Anova One Way), estimación de la relación señal-ruido (S/N) y selección de variables

Una vez realizado el análisis gráfico correspondiente, se procedió a practicar un análisis de varianza (ANOVA), y para la aplicación adecuada del mismo se utilizó la ruta del diagrama A.1 para la aplicación de test de hipótesis que aparece en los anexos. Con la ayuda del software Minitab se puede conocer cuales son las variables cuyo efecto debe de considerarse según el valor estadístico “p”. Para la aplicación del mismo se debe de seguir la siguiente ruta:

- Se selecciona la opción Stat > ANOVA > Anova One Way

Figura 3.12. Análisis de Varianza (ANOVA)

- Luego aparece una ventana en la que debemos especificar la variable “Response” (Respuesta) y “Factor”. Cabe destacar que el nivel de confianza es de 95 % y ya está predefinido por el programa. En la figura que aparece a continuación se muestra la selección de la variable “tiempo de premezcla” como respuesta y a la variable “resina” como factor.

Figura 3.13. Selección de las variables a realizarles el Análisis de varianza

- Una vez especificadas todas las variables se genera la pantalla con el resultado del análisis.

Figura 3.14. Resultados aportados por el Análisis de Varianza

La estimación de la relación señal – ruido, se ejecuta de la siguiente manera:

- Se selecciona el comando stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi design. Cuando se aparece el cuadro de dialogo que aparece en la figura 3.9, se debe seleccionar la opción Graphs, y en este cuadro hacer click en la opción “Signal to

Noise ratio”. En el cuadro de selección principal, se debe de colocar dentro del menu “Options” el criterio para el análisis del S/N, bien sea “Larger is better” (mayor es mejor), “Nominal is better” (nominal es mejor) o “Smaler is better” (menor es mejor). En las figuras 3.14 se muestra el resultado de dicho análisis, utilizando el criterio “menor es mejor”.

Figura 3.15.- Tabla de respuesta de las relaciones señal-ruído para las variables especificadas, bajo el criterio estadístico “menor es mejor”

- La selección de variables se realizó en función de la respuesta de las mismas con respecto al valor “L” (Intensidad de matiz, claro-oscuro) observadas en el análisis gráfico, el valor estadístico “P” obtenido del Anova, sí éste era menor a 0,05, dicha variable debía de considerarse como generadora de algún efecto dentro del experimento y además se consideró el costo asociado a las resinas y mezcla de solventes.

3.4.5.- Creación del Diseño Experimental (2) para verificar el efecto de las variables seleccionadas en el anterior DOE, sobre la etapa de completación del proceso de dispersión

3.4.5.1.- Revisión y selección de la metodología experimental a emplear

Para la ejecución de la presente etapa se siguió el mismo esquema planteado en el paso 3.4.1, aplicándose de forma similar la Metodología Taguchi.

3.4.5.2.- Creación del diseño experimental para la verificación de las variables seleccionadas en la etapa de completación del proceso de Dispersión.

3.4.5.2.1.- Selección del diseño experimental (DOE)

Se debe de seguir la secuencia de pasos expresados en el punto 3.4.2.1.

3.4.5.2.2.- Establecimiento del número de factores, niveles y diseño del DOE

El diseño, tipo Taguchi, está conformado por 3 niveles y 2 factores, los cuales son especificados y definidos en la tabla que se muestra a continuación.

TABLA 3.2
FACTORES Y NIVELES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DEL
DISEÑO EXPERIMENTAL 2

Factores o variables controladas	Niveles
Cantidad de resina a completar (%)	50; 75; 100
Cantidad de solvente a completar (%)	50; 75; 100

En la siguiente figura se visualiza la ventana que se genera una vez que ha sido seleccionada la metodología Taguchi.

Figura 3.16. Especificación del número de factores y niveles del DOE

- En la opción Desings se debe de seleccionar el número de experimentos a emplear para la ejecución del DOE, en este caso se escogieron 9 corridas experimentales.

Figura 3.17. Selección del número de experimentos a emplear en el DOE

3.4.5.2.3.- Definición de los parámetros necesarios para el diseño

En el cuadro de comandos que aparece en la figura 3.16, se selecciona “factors” y se definen los factores y niveles establecidos en la tabla 3.2.

Figura 3.18. Definición de los niveles y factores del DOE

3.4.5.2.4.- Generación del DOE

En la pantalla que se muestra en la figura anterior se selecciona la opción “OK” y automáticamente se genera la secuencia de experimentos a realizar.

Figura 3.19. DOE generado

3.4.6.- Desarrollo del DOE

3.4.6.1.- Preparación del DOE

Para la realización del presente paso se siguieron las indicaciones presentadas en el paso 3.4.3.1 del diseño experimental anterior, ya que el DOE actual trabaja con las mismas materias primas referentes a la dispersión negra.

3.4.6.2.- Preparación de los equipos

El equipo a utilizar para realizar la dispersión fue un molino vertical con agitador interno tipo tornillo sin fin “Supermill Portátil” con capacidad máxima para un (1) galón, el medidor de viscosidad Stormer, y todos los equipos necesarios para la medición de la intensidad de matiz (Los procedimientos para el manejo seguro de estos se encuentran en el apéndice B).

3.4.6.3.- Realización de los experimentos

Según el paso 3.4.5.2.4 el DOE actual sugiere la ejecución de 9 experimentos en donde se evalúa el comportamiento de las diferentes combinaciones referentes a

los porcentajes de completación de resinas y solventes en las diferentes etapas del proceso de dispersión.

3.4.6.4.- Recolección y vaciado de datos

A medida que se fueron realizando los experimentos se recogieron datos relacionados a viscosidades e intensidad de matiz. Las tablas de datos pueden visualizarse en el capítulo IV. Además los datos recolectados fueron vaciados en el programa Minitab para realizarles los análisis posteriores.

3.4.7.- Análisis del Diseño Experimental 2

3.4.7.1.- Análisis gráfico de las variables de salida en función de las variables de entrada

Una vez vaciados los datos en la hoja de cálculo del DOE 2, se siguieron los pasos que se muestran a continuación para el análisis del mismo.

- Stat > DOE >Anova> Main Effects Plot

Figura 3.20. Análisis del DOE

- Aparecerá una pantalla donde debemos seleccionar la variable a analizar.

Figura 3.21. Selección de las variables a analizar

- Se oprime la opción “OK” y automáticamente se generara el gráfico de interacción que muestra la respuesta de la variable en función de los porcentajes de completación.

Figura 3.22. Gráficos generados por el análisis del DOE

- Para el caso de la gráfica de los porcentajes de completación en función de la viscosidad, se deben de seguir los pasos antes indicados, y seleccionar a la viscosidad como variable respuesta.

3.4.7.2.- Análisis de Varianza (ANOVA One Way), estimación de la relación señal - ruido y selección de variables

Se debe de seguir la ruta para el test de hipótesis (Anexo A.1) a fin de corroborar la aplicación del análisis de varianza.

Dentro del comando Stat se selecciona la opción ANOVA, seguida de la opción ANOVA One Way. La ventana que se genera es igual a la figura 3.12.

En la ventana que se abre posterior al paso anterior, se especifican la variable respuesta (response) y el factor a analizar.

Figura 3.23. Especificación de las variables a analizar

- Se oprime el comando "OK" y se genera la ventana correspondiente al análisis de varianza (ANOVA)

Figura 3.24. Resultados del Análisis de Varianza (ANOVA)

La estimación de la relación señal-ruido para las variables que participan en el DOE 2, se obtiene siguiendo el esquema planteado en el paso 3.4.4.2.

- La selección de las variables finales del DOE se realizó en función de la respuesta observada en el análisis gráfico ponderándose con un grado mayor las proporciones cuya intensidad de matiz (“L” nivel claro – oscuro) se acercara a cero (0), a su vez se verificaron el efecto de esta y las demás variables según el valor estadístico “p” para su consideración en los experimentos posteriores.

3.5.- VALIDACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

3.5.1.- Implementación de la nueva base negra obtenida del proceso de dispersión en el fondo negro de alto desempeño

Con la ejecución de los diseños experimentales que se mostraron anteriormente se logró obtener la mejor combinación de componentes que conforman al Fondo Negro de alto desempeño, es decir la base o dispersión negra. La implementación de la misma dentro de la formulación se hizo en función del cociente entre los porcentajes de sólidos de la base negra propuesta y la base negra actual, a fin de mantener las propiedades aportadas por dicha base en el fondo. Los cálculos referentes a la sustitución de la base negra actual por la obtenida con los diseños experimentales puede observarse en el Apéndice C.

3.5.2.- Evaluación de las posibles resinas en la formulación del fondo negro de alto desempeño

Para la formulación del fondo negro de alto desempeño se contó 4 posibles resinas sustitutas, para los cuales se siguió un esquema de 10 experimentos basados en:

1. La sustitución de la resina actual por cada una de las 4 resinas, esto en función del cociente de los porcentajes (%) de sólidos de cada una ella y el porcentaje de sólidos de la resina actual, y sí fuese el caso el recálculo de los porcentaje de masa en la mezcla con la finalidad de alcanzar una sumatoria del 100 % en dichos porcentajes (Apéndice C).
2. La sustitución de la resina actual por la mezcla de dos resinas, obtenida de las posibles combinaciones que se pueden generar entre las 4 resinas, es decir resultan 6 posibles combinaciones que fueron evaluadas siguiendo el esquema presentando en el paso anterior.

La implementación de las resinas y mezcla de resinas que participan en la en la formulación del fondo negro de alto desempeño actual, fueron evaluadas a través de la medición de las propiedades finales del producto, tales como: % sólidos, viscosidad copa Ford 4, peso/galón, adhesión, flexibilidad, escurrido y dureza. Las 7 propiedades antes mencionadas fueron comparadas para las medidas realizadas en cada corrida experimental, con los valores también medidos de la muestra patrón o fondo negro de alto desempeño actual. El procedimiento interno basado en la norma ASTM para la medición de cada una de las propiedades antes mencionadas pueden ser visualizadas en el Apéndice B.

3.6.- EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO – BENEFICIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE

3.6.1.- Determinación de indicadores económicos

Mediante entrevistas con personal especializado en ventas y químicos asesores se logró conocer que los indicadores económicos usados para la evaluación de proyectos es la estimación de la relación costo – beneficio (Mondagron A. 2002). Ya conocido dicho indicador se logró obtener la relación económica para las alternativas propuestas. Los cálculos referentes a este paso pueden ser ubicados en el apéndice C.

3.6.2.- Análisis y selección de alternativas propuestas

Conocidas las relaciones económicas antes calculadas para cada una de las alternativas generadas del paso 3.5, se procedió a la seleccionar la mejor alternativa en función de:

- Menor relación costo-beneficio.
- Menor costo variable.
- Disposición de resinas en función a su localidad o fabricación.
- Igualdad o mejoramiento en las propiedades actuales del fondo negro de alto desempeño tales como: brillo, dureza, flexibilidad, escurrido, adhesión y porcentaje de sólidos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los análisis y discusiones correspondientes a las diferentes actividades que se realizaron para el cumplimiento de los objetivos específicos y objetivo general planteado

4.1.- DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE FONDOS MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DIRECTA

4.1.1.- Revisión bibliográfica de los procedimientos de laboratorio y seguridad de la empresa

A través de la revisión bibliográfica de los diferentes procedimientos de laboratorio y seguridad de la empresa, se logró obtener los conocimientos previos y necesarios de los diferentes ensayos prácticos aplicados en los laboratorios y áreas productivas de la planta. El manejo de los mismos confirma que el personal tiene la noción teórica para su aplicación. Además como política de la empresa es requisito primordial antes de realizar cualquier actividad en las diferentes áreas de la misma, estar al tanto de las medidas y procedimientos de seguridad a fin de garantizar el desarrollo óptimo de las actividades libres de accidentes.

4.1.2.- Observación de los procedimientos y métodos usados en el laboratorio de desarrollo

Una vez obtenidos los conocimientos previos de los procedimientos y métodos normalmente usados en el área de trabajo, se realizó la observación de los mismos en compañía de personal calificado, bien sea los técnicos de laboratorio de desarrollo, técnicos de laboratorio de calidad o químicos asesores. Con esto se logra afianzar dichos conocimientos para la posterior puesta en práctica, con la finalidad de adquirir las destrezas necesarias para la ejecución eficaz de los ensayos.

4.1.3.- Entrevistas con el personal de laboratorio para lograr la identificación del proceso

En el apéndice A, se muestra la entrevista aplicada al personal especialista en el área de elaboración de fondos, de la cual se obtuvo que el proceso de elaboración comprende dos etapas principales, éstas son:

- La etapa de dispersión, en la que se obtiene la base que aporta la coloración del fondo.
- La etapa donde se mezcla la dispersión antes mencionada con resinas, solventes y aditivos.

4.1.4.- Observación directa de las áreas y de los equipos involucrados en el proceso de dispersión y elaboración de fondos

Se procedió a realizar una visita al área de dispersión para observar los diferentes equipos usados para la obtención de bases de diferentes colores, y se pudo evidenciar que se utilizan diferentes molinos según sea el color de la base y la dureza del pigmento. Estos equipos son usados a escala de producción, donde se necesitan generar cantidades industriales. Por otro lado a escala experimental, el laboratorio cuenta con molinos de menores dimensiones en la que se obtienen de 1 a 10 galones de producto generado, y el uso de cada uno depende principalmente del color y dureza de pigmento a emplear.

En el caso de la preparación de fondos a nivel de producción se utilizan tanques mezcladores, en las que las cantidades empleadas de dispersión, resinas, aditivos y solventes son cargados y agregados por el personal de Carga Exacta. A nivel del laboratorio, en donde se utilizan cantidades mucho menores, se cuenta con un stock de materia primas e intermedias, las cuales según sea la formulación son pesadas y mezcladas en los mesones del laboratorio del desarrollo por los técnicos especialistas en el área.

4.1.5.- Revisión de la formulación actual de la dispersión y el fondo negro de alto desempeño

Actualmente el fondo negro de alto desempeño se compone por una base negra (BN-1), una resina alquídica (RC-1), una resina epóxica equivalente (RC-2), una resina melamina (Mel-1) (80 % sólida), un aditivo o agente de control de flujo (AD-1), solventes polares y no polares (Ste-2, Ste-4 y Ste-5), un catalizador para el ajuste de la dureza (C-1) y una dispersión de aditivos (DA-1).

Por otro lado la base o dispersión negra (BN-1) se compone de la resina alquídica (RC-1) usada en el fondo, un aditivo (AD-2), pigmento negro de humo (PN-1) y solventes polares y no polares (Ste-1, Ste-2).

En el apéndice D, se muestra la información de cada uno de los componentes de las formulas del fondo negro de alto desempeño y la dispersión negra.

4.2.- ESPECIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN NEGRA Y EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

4.2.1.- Conocimiento de las propiedades a evaluar en la dispersión y en el fondo negro de alto desempeño

En el plan de inspección de la dispersión negra (BN-1) se pudo conocer que las propiedades a evaluar son las siguientes: viscosidad Stormer, y finura. Por otra parte las propiedades a evaluar en el fondo negro de alto desempeño son: sólidos por peso, medición de brillo ángulo 60, flexibilidad, peso por galón, viscosidad copa Ford, dureza tukón, adhesión, escurrido y dureza.

Los procedimientos para la aplicación de dichos métodos pueden visualizarse en el Apéndice B.

4.2.2.- Conocimiento de los métodos y procesos de elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos

La elaboración de la base negra (BN-1) se lleva a cabo en el área de dispersión en el molino cilíndrico horizontal de alta revolución NLZ- Netz Mills, el mismo es de uso exclusivo para la obtención de dispersiones de color negro. La evaluación y aplicación de las propiedades de la base es realizada por el personal del laboratorio de calidad aplicando las pruebas descritas en el paso 4.2.1.

El fondo negro de alto desempeño comienza con el pesado de las materias primas por parte del personal de carga exacta, y posteriormente son agregadas en los tanques agitadores correspondientes para fondos oscuros y mezclados por un espacio aproximado de 1 hora. Finalmente son aplicados y evaluados por el área de calidad para la verificación de las propiedades requeridas por el cliente para así proceder a la descarga, embasado, etiquetado y colocado en el área de productos terminados para posterior despacho.

4.2.3.- Familiarización con los diferentes equipos que se utilizan para la elaboración, aplicación y evaluación de ambos productos

Se realizaron diferentes ensayos prácticos en los molinos del laboratorio de desarrollo, con la finalidad de obtener la destreza necesaria para los posteriores experimentos a realizar. Se pudo observar que el equipo P-47 donde se realizaron los ensayos cuenta con un sistema de refrigeración con agua, la carga del material se debe de realizar de forma manual y la cantidad máxima que dispersa es 1 galón. Además la premezcla se debe de realizar en los mesones del laboratorio empleando el montaje para premezcla especificado en el Apéndice B. Una vez agregada la carga se deben de manipular los dispositivos necesarios para ajustar la altura del agitador de discos y se pone en funcionamiento el equipo con ayuda del interruptor de encendido. A medida que transcurre el tiempo se va obteniendo la mezcla dispersada y la misma va siendo depositada en un 1 galón previamente aterrado. Finalizado el proceso de dispersión se debe de limpiar el equipo con ayuda del solvente de limpieza y los residuos generados deben ser agregados a los recipientes destinados para el almacenamiento de los mismos. A dicha dispersión se le aplican

las 2 pruebas especificadas en el paso 4.2.1 empleando los métodos y equipos que aparecen en el apéndice B.

Para la formulación del fondo se trabajó directamente en los mesones del laboratorio, realizando la pesada de los materiales en las balanzas digitales y posteriormente el mezclado con ayuda del mezclador. La aplicación del fondo en específico es realizado en las cabinas empleando pistolas a succión y/o presurizadas y posteriormente colocadas en oreo por un espacio no mayor a 10 minutos y horneadas a una temperatura de 120 °C por un tiempo de 20 minutos. Finalmente se le realizan las 8 pruebas especificadas en el paso 4.2.1 y se verifican el estado de las propiedades.

4.3.- DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

4.3.1.- Identificación de los factores que afectan la calidad del producto

Para la identificación de dichos factores se aplicó la encuesta que se muestra en el Apéndice A, al personal especializado en el área de dispersión y elaboración de fondos, de la cual se pudo conocer que la optimización en la formulación de fondos se logra mediante la manipulación de las variables que participan tanto en la dispersión como en el fondo negro de alto desempeño.

En la dispersión se debe de considerar la etapa de premezcla, ya que una buena premezcla garantiza una buena dispersión, para ello se deben de manipular variables como: tiempo de premezcla, resinas, proporción de resinas, proporción de solventes y mezcla de solventes. Además el personal especialista recomendó la verificación de la fase de completación en la dispersión para garantizar que las propiedades de la mezcla que se obtengan se ajusten a los requerimientos del proceso.

Por otro lado el personal especializado en el área de fondos aseguró que el tipo de resina que se use en la formulación del producto puede modificar las

principales propiedades que se evalúen, tales como, adhesión, flexibilidad y escurrido.

4.3.2.- Elaboración del diagrama Causa – Efecto general

Según lo descrito en el capítulo III, se muestran la figura 4.1 que muestra todas las posibles variables o causas que afectan la calidad de las dispersiones. De la misma manera se encuentra también la figura 4.2, referido a la formulación de fondos con las posibles variables que inciden en el mismo. Ambos son resultados de la tormenta de ideas generadas a través de las encuestas realizadas, de los conocimientos adquiridos mediante la observación de los procesos y de la investigación teórica relacionada con las dispersiones y elaboración de fondos.

Dentro de los diagrama causa-efecto que se presentan a continuación, se consideraron las variables que participan tanto en el proceso de dispersión como en la formulación de fondos, es decir: materia prima, equipos, costos, condiciones de operación, etapas o fases del proceso, entre otros.

Los resultados que se obtienen de ambos diagrama son los siguientes:

- Para la formulación de dispersiones se deben de considerar las etapas de premezcla y completación en función de las materias primas (resinas, solventes y pigmentos) y de los equipos donde se pueda manipular una cantidad de mezcla apreciable a escala de laboratorio. Adicional a ello para el posterior análisis de las variables se debe de tomar en cuenta el costo asociado a las materias primas que participen en la formulación de la base o dispersión negra.
- Para la formulación de fondos, las características primordiales para la selección adecuada de los materiales que participan en la elaboración del mismo, debe realizarse en función de las propiedades finales del producto, tales como: adhesión, brillo, viscosidad, flexibilidad, escurrido, entre otros.

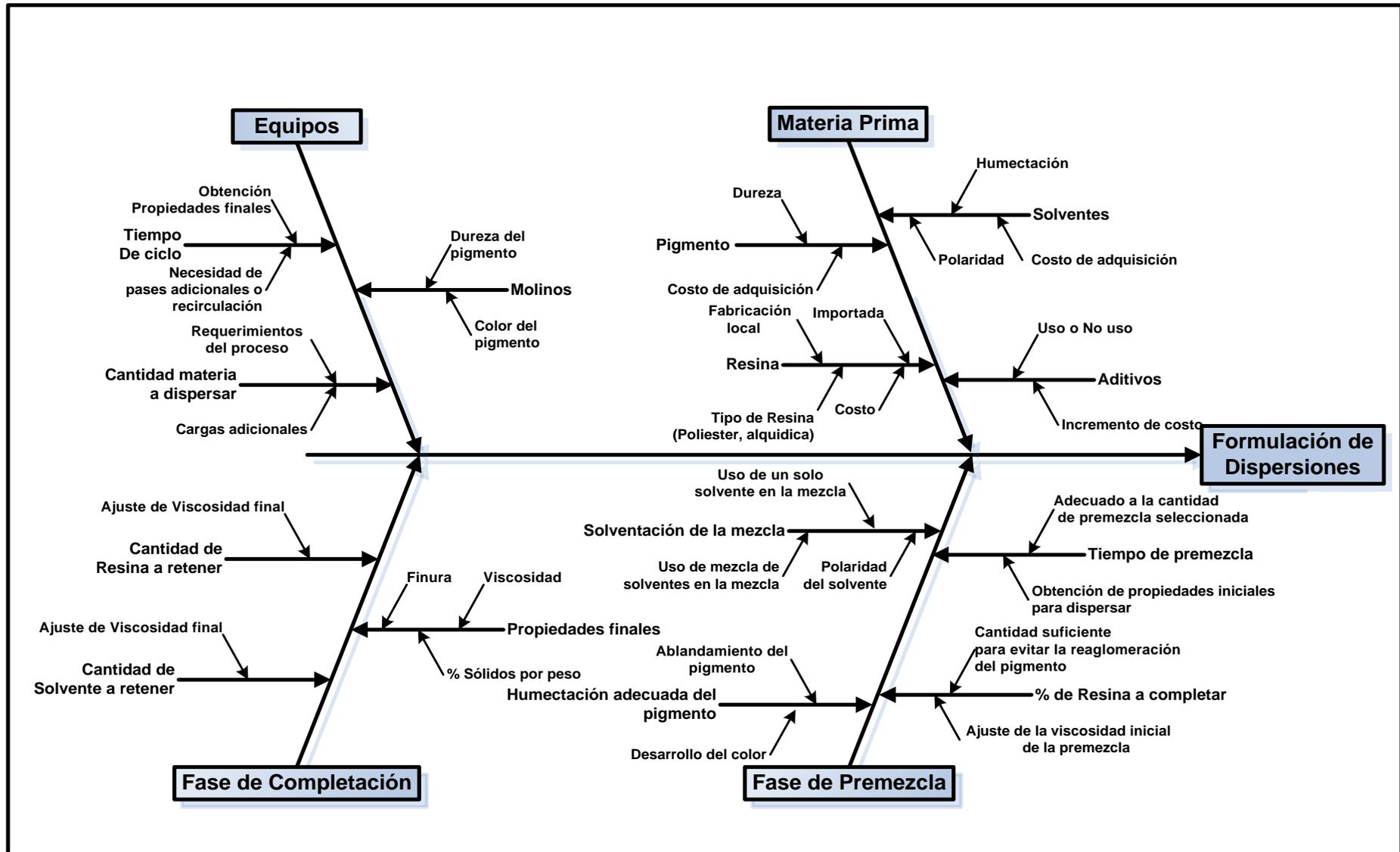


Figura 4.1.- Diagrama Causa-Efecto referido a la Formulación de Dispersiones

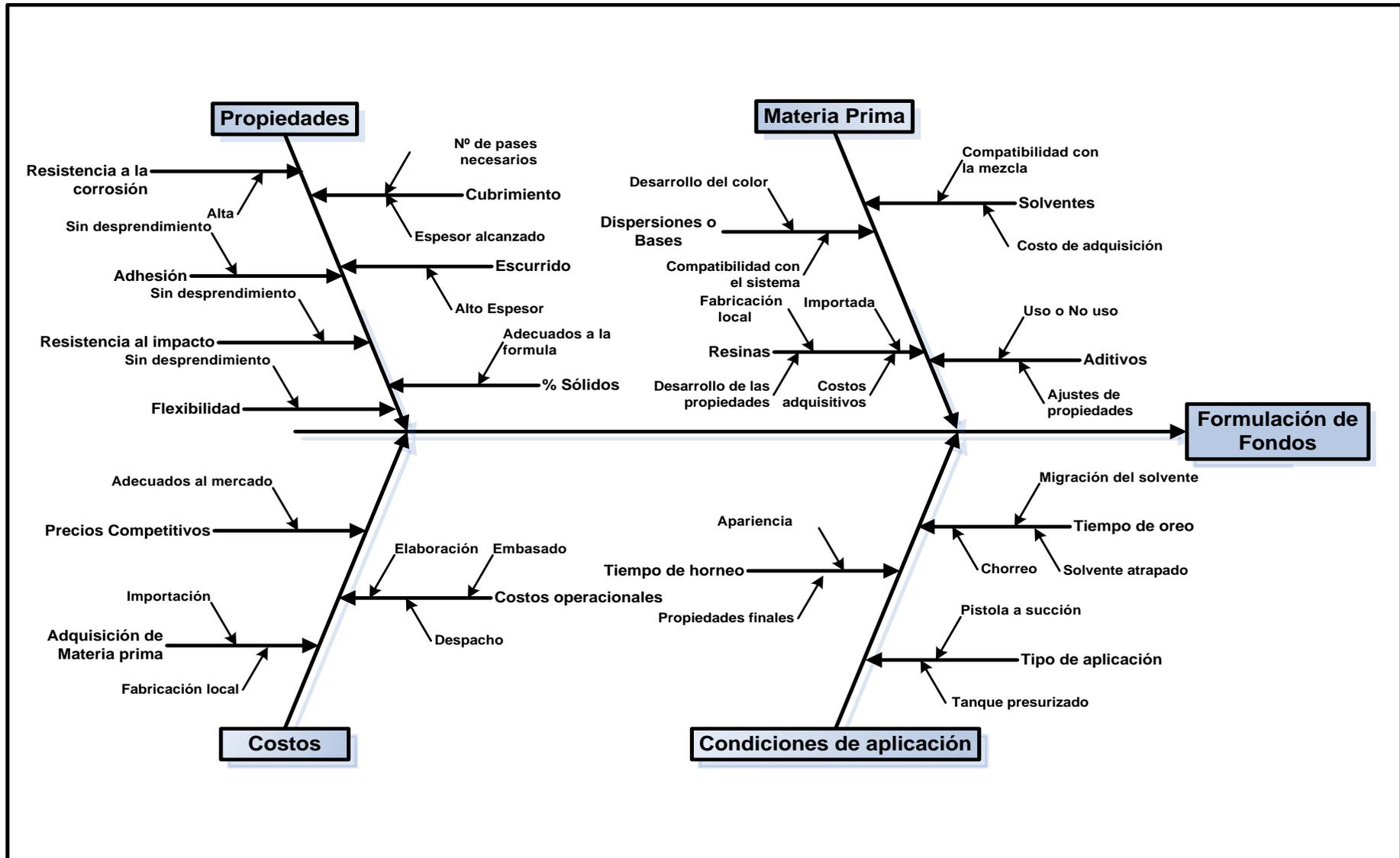


Figura 4.2.- Diagrama Causa-Efecto referido a la Formulación de Fondos

4.3.3.- Establecimiento de los rangos de valores más adecuados para las variables de salida

En la tabla 4.1 aparecen los rangos de valores dentro de los cuales se deben de encontrar los resultados de las diferentes pruebas aplicadas a la dispersión negra y al fondo negro de alto desempeño.

El uso de los mismos permite establecer los valores limites entre los cuales deben encontrarse los resultados que se obtengan en los experimentos posteriores a realizar, con la finalidad de establecer comparaciones con los valores actuales referidos a las RC-1 tanto en la base negra como en el fondo negro.

TABLA 4.1
VALORES LÍMITES PARA LA APROBACIÓN DE LA DISPERSIÓN O BASE
NEGRA Y EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

Producto	Propiedades	Rango de Valores	Unidades
Dispersión negra	Viscosidad Stormer	(6,0 - 14,0)	Poise
	Finura	(0,0 – 0,5)	Mils
Fondo Negro de alto desempeño	Sólidos por peso	(38,0 – 48,0)	%
	Brillo angulo 60	(70,0 – 100,0)	Adimensional
	Flexibilidad	Aprobado- No Aprobado	-
	Peso por galón	(3,4 – 3,8)	Kg/gal
	Viscosidad Copa Ford	(28,0 – 32,0)	Segundos
	Dureza tukón	(12,0 – 15,0)	Knoop
	Adhesión	(0 – 100)	%
	Ecurrido	(1,8 – 2,5)	Mils

4.4.- OBTENCIÓN DE PROPUESTAS QUE PERMITAN LA ADECUADA SELECCIÓN DE LA RESINA A SUSTITUIR EN LA DISPERSIÓN NEGRA

4.4.1.- Revisión y selección de la metodología experimental a emplear

El primer diseño experimental se utilizó para el análisis de la etapa de premezcla del proceso de dispersión. Para ello y basados en los fundamentos teóricos señalados en el capítulo II y adecuándolos a las variables que participan en la etapa de premezcla, se seleccionó la metodología Taguchi para la evaluación y análisis de dicho proceso. Según las variables que participan en dicha etapa se tiene que las de mayor importancia y consideradas como variables independientes son: proporción de resina, proporción de solventes, mezcla de solventes y tiempo de premezcla. Cada una de estas variables se estudiaron en función de cada una de la resinas, es decir la RC-A, RC-B y RC-C (Apéndice D); de esta manera el diseño experimental basado en metodología Taguchi consta de cuatro (4) factores. Tomando en cuenta esta característica y con ayuda del software estadístico Minitab, la metodología Taguchi se ajusta a los requerimientos del experimento por sus condiciones de flexibilidad en el número de corridas experimentales a realizar y por ende el tiempo a emplear en el desarrollo de los mismos. Por otro lado cada una de estas variables independientes o factores fueron evaluados a diferentes niveles, los cuales se presentan en la tabla 3.1. Cabe destacar que la metodología estadística empleada permite la combinación de todos los factores con la finalidad de conseguir el desempeño óptimo de la variable de salida, que en éste caso es la intensidad de matiz (nivel claro-oscuro o "L"). La garantía de obtener un desempeño óptimo parte de la metodología intrínseca del diseño tipo Taguchi, donde los factores controlables definidos anteriormente, son parte de un arreglo ortogonal interno que a su vez es cruzado con las señales o factores ruido consideradas por el software, con la finalidad de mantener o reducir la variabilidad de las mismas. Para el posterior análisis de los resultados se utilizó el criterio estadísticos de "menor es mejor". Para ello el software Minitab, ofrece la opción de realizar un análisis utilizando el criterio seleccionado con la intención de minimizar la desviación estándar de los valores obtenidos y maximizar la relación señal-ruido (S/R o S/N).

4.4.2.- Desarrollo del diseño experimental (DOE)

En el paso 4.2.5 se señaló la formulación de la dispersión negra, en función a estos datos se realizó la solicitud de las materias primas necesarias para la

ejecución de la fase experimental. Se estimó un promedio de 1 galón como cantidad de mezcla a dispersar y en función a este valor se realizaron los cálculos para la fase de premezcla según fuese la resina y la combinación de los factores y niveles antes nombrados:

- Para el tipo de resina se realizó el ajuste pertinente de la fórmula tomando en cuenta el porcentaje de sólidos de la misma (los cálculos referenciales pueden visualizarse en el Apéndice C),
- Según el porcentaje de resina, para la fase de premezcla se utilizó la cantidad según fuese el caso 30, 50 y 75 % del total de resina presente en la mezcla.
- En la proporción de solventes, se trabajó con 50, 75 y 100 % correspondiente a la cantidad de los mismos a emplear en dicha fase, además se debe considerar la mezcla de solventes a utilizar, manteniendo una proporción fija de 60-40 en la participación de los mismos en la formulación de la dispersión.
- La cantidad de tiempo que permanecerá dicha fase en la etapa de premezclado corresponde a 30, 45 y 60 minutos. Estos tiempos fueron estimados según datos suministrados por el personal del área de dispersión, los cuales emplean un día completo (24 horas) para lograr la humectación adecuada del pigmento cuyas cantidades utilizadas son a escala industrial. Es por ello que se realizó la conversión adecuada del tiempo en función de la cantidad de mezcla a dispersar, obteniéndose los rangos de valores anteriormente especificados.

Se realizaron un total de 81 experimentos correspondientes a 27 corridas por cada resina, en cada uno de los experimentos se recolectaron los valores de viscosidad stormer e intensidad de matiz (nivel “L” claro-oscuro). En las siguientes tablas se muestran los datos recolectados en el presente diseño:

TABLA 4.2
VALORES DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ “L” (NIVEL CLARO-OSCURO) EMPLEANDO LA RC- A EN LA FASE DE PREMEZCLA

Corrida	Tiempo Premezcla (min)	Prop. Resina (%)	Prop. Solvente (%)	Mezcla De Solventes (adim)	Viscosidad Stormer ($\mu_s \pm 0,1$) (poise)	Intensidad de Matiz ($L \pm 0,01$) (adim)
1	30	35	50	Ste-1/Ste-2	3,2	77,34
2	30	35	50	Ste-1/Ste-3	3,0	77,83
3	30	35	50	Ste-2/Ste-3	3,0	77,01
4	45	50	75	Ste-1/Ste-2	4,0	88,66
5	45	50	75	Ste-1/Ste-3	4,8	82,38
6	45	50	75	Ste-2/Ste-3	5,0	77,96
7	60	75	100	Ste-1/Ste-2	7,5	82,40
8	60	75	100	Ste-1/Ste-3	8,0	82,60
9	60	75	100	Ste-2/Ste-3	8,0	82,20
10	30	35	50	Ste-1/Ste-2	10,0	83,66
11	30	35	50	Ste-1/Ste-3	11,0	82,47
12	30	35	50	Ste-2/Ste-3	11,5	83,54
13	45	50	75	Ste-1/Ste-2	2,4	82,19
14	45	50	75	Ste-1/Ste-3	2,4	82,97
15	45	50	75	Ste-2/Ste-3	2,4	84,39
16	60	75	100	Ste-1/Ste-2	6,0	79,59
17	60	75	100	Ste-1/Ste-3	7,0	79,97
18	60	75	100	Ste-2/Ste-3	6,5	78,67
19	30	35	50	Ste-1/Ste-2	5,0	84,42
20	30	35	50	Ste-1/Ste-3	4,6	86,59
21	30	35	50	Ste-2/Ste-3	4,6	86,53
22	45	50	75	Ste-1/Ste-2	10,5	81,24
23	45	50	75	Ste-1/Ste-3	10,5	79,22
24	45	50	75	Ste-2/Ste-3	10,0	80,77
25	60	75	100	Ste-1/Ste-2	2,2	82,16
26	60	75	100	Ste-1/Ste-3	2,2	82,60
27	60	75	100	Ste-2/Ste-3	2,2	81,70

TABLA 4.3
VALORES DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ “L” (NIVEL CLARO-OSCURO) USANDO LA RC- B EN LA FASE DE PREMEZCLA

Corrida	Tiempo Premezcla (min)	Prop. Resina (%)	Prop. Solvente (%)	Mezcla De Solventes (adim)	Viscosidad Stormer ($\mu_s \pm 0,1$) (poise)	Intensidad de Matiz ($L \pm 0,01$) (adim)
1	30	35	50	Ste-1/Ste-2	3,6	77
2	30	35	50	Ste-1/Ste-3	3,6	78
3	30	35	50	Ste-2/Ste-3	3,6	78
4	45	50	75	Ste-1/Ste-2	3,8	79
5	45	50	75	Ste-1/Ste-3	3,8	76
6	45	50	75	Ste-2/Ste-3	3,8	78
7	60	75	100	Ste-1/Ste-2	5,5	79
8	60	75	100	Ste-1/Ste-3	5,5	80
9	60	75	100	Ste-2/Ste-3	5,8	77
10	30	35	50	Ste-1/Ste-2	7,5	83
11	30	35	50	Ste-1/Ste-3	7,5	83
12	30	35	50	Ste-2/Ste-3	8,0	82
13	45	50	75	Ste-1/Ste-2	2,0	87
14	45	50	75	Ste-1/Ste-3	2,0	86
15	45	50	75	Ste-2/Ste-3	2,0	86
16	60	75	100	Ste-1/Ste-2	4,2	84
17	60	75	100	Ste-1/Ste-3	4,6	84
18	60	75	100	Ste-2/Ste-3	4,6	84
19	30	35	50	Ste-1/Ste-2	2,8	86
20	30	35	50	Ste-1/Ste-3	2,8	86
21	30	35	50	Ste-2/Ste-3	2,8	85
22	45	50	75	Ste-1/Ste-2	5,8	84
23	45	50	75	Ste-1/Ste-3	6,1	84
24	45	50	75	Ste-2/Ste-3	6,5	85
25	60	75	100	Ste-1/Ste-2	2,4	85
26	60	75	100	Ste-1/Ste-3	2,4	90
27	60	75	100	Ste-2/Ste-3	2,4	82

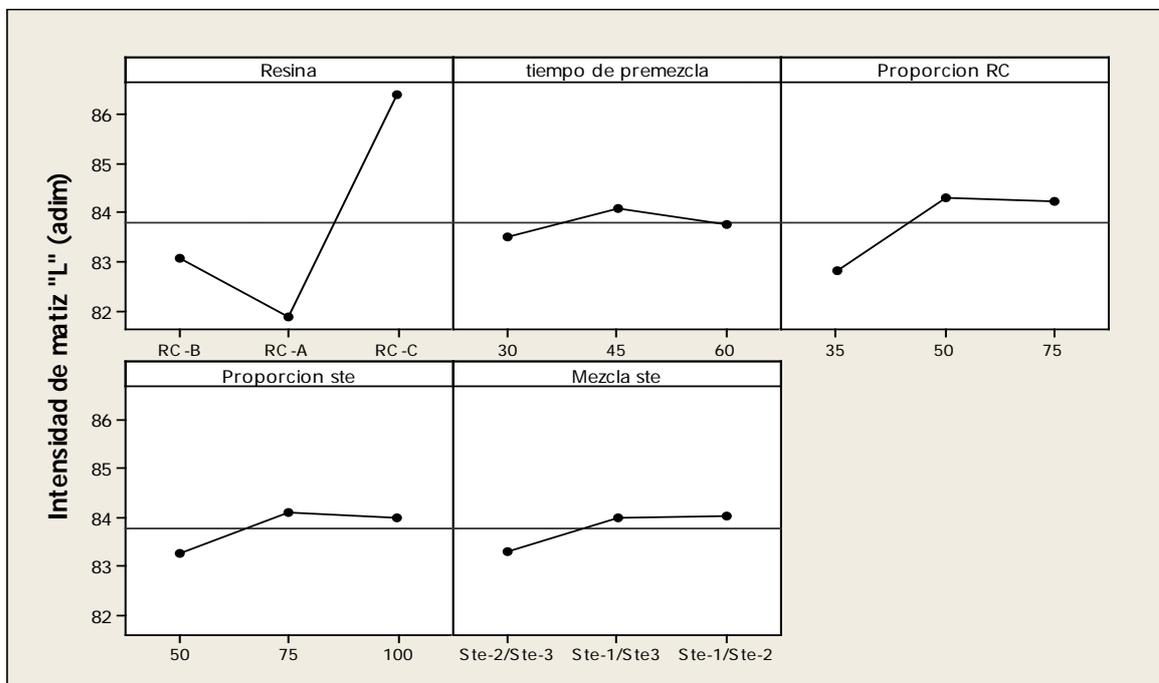
TABLA 4.4
VALORES DE VISCOSIDAD STORMER E INTENSIDAD DE MATIZ “L” (NIVEL CLARO-OSCURO) USANDO LA RC- C EN LA FASE DE PREMEZCLA

Corrida	Tiempo Premezcla (min)	Prop. Resina (%)	Prop. Solvente (%)	Mezcla De Solventes (adim)	Viscosidad Stormer ($\mu_s \pm 0,1$) (poise)	Intensidad de Matiz ($L \pm 0,01$) (adim)
1	30	35	50	Ste-1/Ste-2	3,6	83,86
2	30	35	50	Ste-1/Ste-3	3,6	83,93
3	30	35	50	Ste-2/Ste-3	3,6	83,25
4	45	50	75	Ste-1/Ste-2	3,0	85,87
5	45	50	75	Ste-1/Ste-3	3,0	87,90
6	45	50	75	Ste-2/Ste-3	3,0	86,01
7	60	75	100	Ste-1/Ste-2	7,0	84,83
8	60	75	100	Ste-1/Ste-3	7,0	85,43
9	60	75	100	Ste-2/Ste-3	7,0	83,96
10	30	35	50	Ste-1/Ste-2	2,4	88,30
11	30	35	50	Ste-1/Ste-3	2,4	87,80
12	30	35	50	Ste-2/Ste-3	2,4	88,93
13	45	50	75	Ste-1/Ste-2	2,4	84,36
14	45	50	75	Ste-1/Ste-3	2,4	84,50
15	45	50	75	Ste-2/Ste-3	2,4	83,51
16	60	75	100	Ste-1/Ste-2	4,0	87,50
17	60	75	100	Ste-1/Ste-3	4,0	87,14
18	60	75	100	Ste-2/Ste-3	4,0	87,36
19	30	35	50	Ste-1/Ste-2	2,6	86,16
20	30	35	50	Ste-1/Ste-3	2,6	85,19
21	30	35	50	Ste-2/Ste-3	2,6	89,13
22	45	50	75	Ste-1/Ste-2	7,0	89,8
23	45	50	75	Ste-1/Ste-3	7,0	89,38
24	45	50	75	Ste-2/Ste-3	7,0	88,12
25	60	75	100	Ste-1/Ste-2	2,4	88,24
26	60	75	100	Ste-1/Ste-3	2,4	86,80
27	60	75	100	Ste-2/Ste-3	2,4	83,86

La medición de los valores de la viscosidad Stormer e intensidad de matiz se realizaron en función de la metodología planteada en el apéndice B.

4.4.3.- Análisis gráfico, comportamiento químico y estadístico de las variables de salida viscosidad e intensidad de matiz en función del tiempo de premezcla, proporción de resinas, proporción de solventes y mezcla de solventes

Una vez vaciado los datos tal como se muestra en el capítulo III, sección 3.4.3.4 y 3.4.4.1 en la hoja de cálculos del software minitab, se obtiene el comportamiento gráfico de las variables de salida en función de las variables controladas. Para efectos del análisis de resultados del presente diseño experimental, se utilizaron los datos de la intensidad de matiz, ya que los valores de viscosidad Stormer obtenidos, son totalmente dependiente de la cantidad de resina que se utilizó en cada premezcla, es decir aquellos experimentos en los que la proporción de resina fue mayor se observa que la medida de viscosidad que se obtiene, exhibe el mismo comportamiento. De esta manera, el análisis gráfico resultante puede observarse a continuación.



Gráfica 4.1.- Comportamiento gráfico de la intensidad de matiz “L” en función de los diferentes niveles a los que fueron evaluados los factores determinados

De las gráficas se desprende que las resinas RC-A y RC-B presentaron los valores más bajos de “L”, los tiempos de premezcla arrojaron valores similares en el nivel claro-oscuro, es decir que llevando a cabo la fase de premezcla utilizando cualquiera de ellos se pueden obtener resultados cercanos o iguales y la mezcla de solventes cuyos valores de “L” eran menores resultó la mezcla Ste-2/Ste-3. Cabe destacar que las proporciones que se deben de utilizar tanto de las resinas como de la mezcla de solventes en la fase de premezcla son 35 % y 50 % respectivamente, ya que de esta manera se asegura la humectación adecuada del pigmento para su posterior molienda.

La humectación adecuada se logra cuando existe un equilibrio apropiado entre resina, solventes y pigmento. Los solventes seleccionados, el Ste-2 y el Ste-3 (Apéndice D), son de naturaleza orgánica y a su vez son afines con el pigmento, que es el negro de humo, y el cual es hidrofóbico, lo que facilita el desplazamiento de las moléculas de aire que se encuentran sobre la superficie de las partículas del pigmento, logrando su desaglomeración. La resina RC-B se encarga de crear el medio y la capa necesaria alrededor de las partículas del pigmento para evitar la floculación. La estabilización estérica del sistema depende de la estructura y espesor de la capa de resina que se forme, mejorando la solvatación del pigmento por parte de la mezcla de solventes.

La verificación de la humectación del pigmento puede ser visualizada aplicando un análisis de solventación (procedimiento que se explica en el Apéndice B), en el cual y con ayuda del equipo Crhoma Vision, se obtiene el valor en la escala “L” referente a la intensidad de matiz claro-oscuro, en donde los valores que se acerquen a cero demuestran el poder de tinte que se alcanza cuando se obtiene el desarrollo óptimo del pigmento.

Para comprobar si existe o no un efecto de la variable de salida “L” en función de cada una de las variables controladas tales como: resina, proporción de resina, proporción de solventes, mezcla de solventes y tiempo de premezcla, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), cuyos resultados del valor estadístico “p” se muestran a continuación:

TABLA 4.5
ESTIMACIÓN DEL VALOR ESTADÍSTICO “P” PARA, RESINA, TIEMPO DE
PREMEZCLA, PROPORCIÓN DE RESINA Y PROPORCIÓN DE SOLVENTE
APLICANDO UN ANÁLISIS DE VARIANZA

Factor	Respuesta (adim)	Valor estadístico ($p \pm 0,001$) (adim)
Resina	L	0,000
Tiempo de Premezcla		0,818
Proporción de Resina		0,201
Proporción de Solvente		0,637

Del siguiente análisis se desprende que la variable que puede generar un efecto sobre la intensidad de matiz “L”, son las resinas que se utilicen para sustituir, bien sea la RC-A, la RC-B y la RC-C, ya que “p” es menor al valor empírico α igual 0,05, es decir que dependiendo de cualquiera de las tres resinas con las que se cuenta para el estudio de premezcla, la RC-B y la RC-A son las que pueden ofrecer valores de “L” menores, lo cual es el interés del presente ensayo ya que de esta manera se obtiene el desarrollo del color negro con mejor intensidad, que a su vez se traduce en una mejor solventación del sistema.

Además tal como se especificó en el paso 4.4.1 la metodología taguchi utiliza criterios para el mejor control de las variables de salida, en este caso aplica el criterio que “menor es mejor”, ya que lo que se está buscando es obtener valores de “L” cercanos a cero, y además que las señales ruidos se minimicen para obtener una relación S/R maximizada.

En la siguiente tabla se puede visualizar el análisis obtenido:

TABLA 4.6
RESPUESTA DE LA RELACIÓN SEÑAL RUIDO PARA LA RESINA, TIEMPO DE
PREMEZCLA, PROPORCIÓN DE RESINA, PROPORCIÓN DE SOLVENTE Y
MEZCLA DE SOLVENTE UTILIZANDO EL CRITERIO ESTADISTICO DE LA
METODOLOGÍA TAGUCHI “MENOR ES MEJOR”

Nivel	Resina ($S/R_r \pm 0,01$) (adim)	Tiempo de premezcla ($S/R_t \pm 0,01$) (adim)	Proporción de resina ($S/R_p \pm 0,01$) (adim)	Proporción de solvente ($S/R_{ps} \pm$ $0,01$) (adim)	Mezcla de solvente ($S/R_m \pm 0,01$) (adim)
1	-38,28	-38,43	-38,35	-38,40	-38,41
2	-38,26	-38,49	-38,51	-38,49	-38,48
3	-38,73	-38,45	-38,51	-38,48	-38,48
Delta	0,47	0,06	0,16	0,09	0,08
Rank	1	5	2	3	4

De la siguiente tabla se entiende:

- Para la resina, el nivel 1 corresponde a la RC-B, el 2 para la RC-A y el 3 para la RC-C. La mejor relación señal-ruido es aquella que presenta el valor máximo, es decir que el valor de las variables ruido debe ser menor para que el cociente se maximice, en este caso tanto la RC-B y RC-A presentan valores similares, y esto implica que dichas variables, que son consideradas por el software para las corridas experimentales se encontraron controladas. El valor Delta representa la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la relación señal ruido, y el Rank se entiende como el orden de importancia entre los factores que generan un mayor efecto sobre la variable de salida, considerándose el valor numérico 1 como el de mayor efecto y los valores entre 2 y 5 como de menor efecto.
- El nivel 1 en el tiempo de premezcla corresponde a 30 min, el 2 a 45 min y el 3 a 60 min. La variación de las señales ruido es pequeña, lo que quiere decir que los valores de las mismas son similares, y su orden de importancia Rank

es el 5, lo que da a entender que su efecto sobre la variable de salida es el menor.

- Para la proporción de resina el nivel 1, 2 y 3 corresponden a 35, 50 y 75 % respectivamente. Utilizando una proporción de resina de 35% se obtiene la relación señal-ruido mayor y su orden de importancia en la incidencia de la variable de salida es la número 2.
- El nivel 1, 2 y 3 para la proporción de solvente corresponde a 50, 75 y 100 %. El nivel 1 presenta la relación S/R mayor y las variaciones de dicha relación presentan una diferencia entre sí de 0,09 unidades. Su valor Rank es el tercero en importancia.
- La mezcla de solventes con la relación señal-ruido mayor corresponde al nivel 1 referido a la mezcla Ste-2/Ste-3, la variación entre el valor máximo y mínimo del S/R es de 0,08 unidades y su Rank es de 4 con respecto a la incidencia en la variable de salida.

Otro factor que se puede considerar para la selección de la resina y los solventes en la fase de premezcla y la dispersión es el costo asociado a su adquisición. En la siguiente tabla se muestra los valores referenciales de dichos componentes:

TABLA 4.7
VALORES ECONÓMICOS REFERENCIALES PARA LAS RESINAS Y
SOLVENTES Y SOLVENTES CONSIDERADOS EN LA FASE
EXPERIMENTAL

Material	Costo adquisitivo (\$/Kg)
RC-1 (valor patrón)	1,22
RC-A	1,30
RC-B	1,12
RC-C	0,87

CONTINUACIÓN TABLA 4.7
VALORES ECONÓMICOS REFERENCIALES PARA LAS RESINAS Y
SOLVENTES Y SOLVENTES CONSIDERADOS EN LA FASE
EXPERIMENTAL

Material	Costo adquisitivo (\$/Kg)
Ste-1	1,13
Ste-2	1,14
Ste-3	0,96

Tomando en cuenta los factores que inciden sobre la humectación del pigmento y el comportamiento de los datos recolectados en función a los análisis estadísticos realizados y considerando el factor económico, la selección de la materia prima a sustituir es la siguiente:

- La RC-B presenta un comportamiento intermedio a nivel económico y en los resultados experimentales referidos a la intensidad de matiz nivel claro-oscuro “L”. Esto lo hace atractiva para ser la sustituta de la resina actual, la RC-1. Además como es la única variable que afecta los valores de “L” la misma exhibió el comportamiento requerido ajustado al criterio de la metodología estadística Taguchi que tiene por objeto reducir la variación presente entre en productos y procesos, a través de la adecuada selección de los niveles para cada factor que participa en el diseño. De esta manera la selección de los factores para la fase de premezcla queda de la siguiente manera:
 - Proporción de resina: 35 %
 - Proporción de solvente: 50 %
 - Tiempo de premezcla: 30 min
 - Mezcla de solventes: Ste-2/Ste-3 con una relación de (40-60)

4.4.4.- Creación del Diseño Experimental (2) para verificar el efecto de las variables seleccionadas en el anterior DOE, sobre la etapa de completación del proceso de dispersión

En el paso 4.4.3 se dieron a conocer la variables seleccionadas del diseño experimental 1, correspondientes a la fase de premezcla de la dispersión. Posterior a dicha fase continúa la fase de completación, que incluye la molienda de la mezcla resina-pigmento-solvente, en la cual se procederá a completar con una cantidad inicial de resina y solvente y una vez dispersada se le adicionaría el sobrante sí es el caso. Es decir del 100 % que hay de resina un 35 % fue utilizado en la fase de premezcla al igual que de solvente se usó un 50 %. De esta manera quedan 65 % y 50 % respectivamente, cantidades que ahora representarían el 100 % de la fase de completación. En la siguiente tabla se muestran las condiciones de la premezcla ya establecida, con las variables a evaluar en el presente diseño relacionado a los porcentajes de resina y mezcla de solvente a completar.

**TABLA 4.8
VARIABLES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DEL DOE 2 REFERENTE
A LA FASE DE COMPLETACIÓN DE LA DISPERSIÓN**

Fase de premezcla		Fase de completación		
Resina	RC- B	Factores	Niveles	
Mezcla de solventes	Ste-2/Ste-3	Cantidad de resina a completar (%)	50	
			75	
Tiempo de premezcla (min)	30		100	
Proporción de resina (%)	35		Cantidad de solvente a completar (%)	50
				75
Proporción de solvente (%)	50			100

El presente DOE se compone de dos factores los cuales serán evaluados en tres niveles. La metodología estadística a utilizar es Taguchi, a pesar de que es aplicable el diseño tipo factorial, al tratarse de dos factores, es interés en el presente desarrollo utilizar el criterio estadístico de “menor es mejor” para la manipulación de las variables cantidad de resina y solvente a completar, en función de la obtención de valores de intensidad de matiz “L” nivel claro-oscuro cercanos a cero , con la finalidad de conseguir las cantidades adecuadas de ambos factores para lograr una dispersión igual o mejor a la existente, basado en las propiedades finales tales como: finura, viscosidad final e intensidad de matiz, estas últimas se clasificarían como las variables de salidas del diseño experimental.

Basados en la metodología Taguchi, resultaron un total de 9 corridas experimentales, que se traducen en la obtención de nueve dispersiones en las que se combinan las 3 proporciones de resina con cada una de los porcentajes de solvente a completar, y viceversa, con la meta de seleccionar la más adecuada aplicando un esquema similar para el análisis y selección del DOE 1, las cuales son: el comportamiento de los resultados obtenidos mediante un análisis gráfico, el comportamiento químico como justificación de los resultados apoyados en la teoría y el análisis estadístico correspondiente como herramienta de soporte para la justificación de la decisión a tomar.

4.4.5.- Desarrollo del DOE 2

En la tabla 4.8 aparecen reflejadas las proporciones de resina y solvente a utilizar en la premezcla, las cuales fueron utilizadas para la preparación de una cantidad aproximada de 12 galones, ya que para cada corrida se dispersó un galón respectivamente. El esquema para el desarrollo de la misma es el siguiente:

- 1.- A un galón de premezcla se le adicionaba la cantidad correspondiente a la proporción de resina y solvente a completar y se mezclaba.
- 2.- Se procedía a dispersar la mezcla anterior en el molino P-47, siguiendo las instrucciones establecidas para su operación, tal como se especifica en el apéndice B, hasta lograr una finura de 0,25 mils.

3.- Sí era el caso se completaba la mezcla con la cantidad de resina y solvente que restaban del porcentaje cargado en el paso 1. Éste paso no aplicaría para la corrida experimental donde se utilizaba el 100 % de ambos productos para completar.

4.- Se realizaron las mediciones de viscosidad Stormer e intensidad de matiz “L”, siguiendo los procedimientos del apéndice B.

En la siguiente tabla aparece la información recolectada en el presente diseño experimental.

TABLA 4.9
VALORES REPORTADOS DE LAS PRUEBAS DE VISCOSIDAD STORMER E
INTENSIDAD DE MATIZ DEL DOE 2

Experimento	Cantidad de resina a completar (%)	Cantidad de solvente a completar (%)	Viscosidad final @ 25 ° C ($\mu_f \pm 0,1$) (poises)	Intensidad de matiz (L \pm 0,01) (adim)
1	50	50	4,2	65,90
2	50	75	7,0	54,87
3	50	100	10,0	62,29
4	75	50	4,3	60,62
5	75	75	6,0	60,05
6	75	100	9,0	59,86
7	100	50	4,2	56,84
8	100	75	5,0	56,85
9	100	100	7,0	54,57

Nota: Cada una de estas dispersiones alcanzaron una finura menor a 0,25 mils en un solo pase por el molino utilizado.

4.4.6.- Análisis gráfico, comportamiento químico y estadístico de las variables: viscosidad Stormer e intensidad de matiz con respecto a las cantidades de resina y solvente utilizadas en la fase de completación del proceso de dispersión

A continuación se muestran las gráficas obtenidas a través del programa Minitab, en las que se puede visualizar el comportamiento de las distintas variables medidas en el desarrollo del presente diseño experimental.

Gráfica 4.2.- Efecto de las variables cantidad de resina y solvente a completar sobre “L”

Gráfica 4.3.- Efecto de las variables cantidad de resina y solvente a completar sobre la viscosidad Stormer

Del análisis gráfico se puede decir:

- Con respecto a la intensidad de matiz, la gráfica muestra el comportamiento que presentan los niveles o porcentajes a completar de resina y los porcentajes de solventes sobre los valores de “L”. Como se había explicado anteriormente la meta del diseño es obtener valores de intensidad de matiz claro-oscuro cercanos a cero. En la gráfica 4.2 se puede evidenciar que con 100 % de resina a completar se logra la meta, y por otro lado con las proporciones de 75 % y 100% de solvente a completar se obtienen los niveles de “L” más bajos.
- En la gráfica 4.3 se verifica el efecto que presentan ambos factores en la fase de completación sobre la viscosidad de la dispersión. En la tabla 4.1 aparece los valores límites de las medidas de viscosidad de la base negra. De esta manera se observa que entre los porcentajes de resina a completar (con 50 y 75%) se obtienen medidas promedios entre 6 y 7 poises y para el caso de una completación con 100 % de resina se obtiene un valor promedio mayor a 5 poises. Por otro lado sí se agrega la totalidad de solvente (100 %) se obtienen los valores más altos de viscosidad que además se encuentran dentro de los rangos establecidos.

El interés del experimento es conseguir condiciones que favorezcan a ambos factores (cantidad de resina y solvente a completar) en función de la optimización de las propiedades intensidad de matiz y viscosidad. Esto se puede lograr cuando se completa con la totalidad de resina y solvente. En la tabla 4.9, se puede verificar que en el experimento 9, correspondiente a una completación de 100 % en ambos factores se obtuvo el valor de “L” más bajo y una viscosidad de 7 poises que se encuentra dentro del rango de aprobación del producto.

El comportamiento gráfico en la etapa de completación y dispersión de la mezcla antes descrito incluye dos fases que deben ser analizadas en función de los resultados, estas son: Reducción y ruptura de grumos o aglomerados y estabilización.

La primera está asociada con la ruptura de las partículas de pigmentos ya humectadas en unas de menor tamaño, a causa de fuerza mecánica de cizalla o impacto impartidos por el molino. Las partículas humectadas en la fase de premezcla y antes de pasar por el molino se encuentran bajo el efecto de los siguientes fenómenos: fuerzas de Van der Waals causadas por la atracción entre partículas debida a su propia masa, puentes de hidrógenos asociadas a la naturaleza de los solventes o de los componentes que pueden provocar la cohesión entre los grumos y fuerzas electrostáticas generadas por la presencia de dipolos inducidos. Las fuerzas electrostáticas son las que actúan cuando no ha ocurrido la reagrupación del pigmento, pero la misma desaparece cuando se incrementa la agrupación de los aglomerados y las fuerzas de Van der Waals aumentan al igual que el peso de las partículas. Estos efectos se ven disminuidos de forma eficiente cuando se logra una finura adecuada, y mientras mayor sea ésta, como causa del trabajo mecánico de cizallamiento o molienda, las fuerzas de adherencia y cohesión se rompen con los aglomerados. (Bas, 1990)

En éste caso para un conjunto de pigmento orgánico (negro de humo), resina de tipo poliéster y una mezcla de solventes polares y no polares, con una finura menor o igual a 0,25 mils se logra una reducción efectiva del tamaño de las partículas del pigmento.

La otra fase que se debe de tomar en cuenta es la estabilización estérica de la dispersión obtenida, en donde las moléculas de la resina RC-B son adsorbidas en la interfase sólido-líquido. La superficie del pigmento PN-1 adsorbe una parte de estas moléculas y la otra parte es solvatada por el medio, lo cual crea una barrera estérica que evita el acercamiento entre las partículas, mejorando la estabilidad del sistema. La misma se evidencia cuando existe uniformidad y homogeneidad en la consistencia de la mezcla, mejorando el cubrimiento y el brillo aportado por esta base negra.

A través del análisis de varianza (ANOVA), se verificó la incidencia de los factores evaluados en las propiedades evaluadas, los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla:

TABLA 4.10
ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA INCIDENCIA DE
LOS FACTORES CANTIDAD DE RESINA Y SOLVENTE A COMPLETAR SOBRE
LAS PROPIEDADES INTENSIDAD DE MATIZ “L” Y VISCOSIDAD STORMER

Factores	VARIABLES DE SALIDA	Valor estadístico “P” (p ± 0,001) adim
Cantidad de resina a completar	Intensidad de matiz “L”	0,234
Cantidad de solvente a completar		0,498
Cantidad de resina a completar	Viscosidad Stormer	0,690
Cantidad de solvente a completar		0,006

Al igual que el análisis de varianzas practicado en el DOE 1, el valor estadístico “p” refleja la incidencia de un factor sobre la variable de salida, considerándose relevante el efecto cuando dicho valor es menor a 0,05 unidades. (Software Minitab 15, 2007).

En el análisis de varianza que se realizó para el presente diseño se puede observar que los valores de “p” de la cantidad de resina y solvente a completar con respecto a la intensidad de matiz son mayores a 0,05 y por ende no inciden sobre dicha propiedad. Por otro lado, para la viscosidad Stormer de la dispersión negra solo la cantidad de solvente a completar puede generar un cambio sobre la misma, ya que el valor “p” estimado es menor que el nivel de significancia “α”.

Adicional al análisis de varianza, se verificó la relación señal-ruido aportado por las variables medidas en el DOE 2, con la intención observar si la diferencia entre las señales que se obtengan son relevantes y en que niveles fueron mayores para el posterior control de los factores en futuros experimentos. Dicho análisis se realizó por separado para cada variable de salida, ya que para el caso de la intensidad de matiz “L” se utilizó el criterio “menor es mejor” y para el caso de la

viscosidad Stormer “mayor es mejor”, ya que para esta propiedad la intención es obtener valores iguales o cercano al valor limite superior. A continuación se muestran los valores que se obtuvieron en las tablas de respuesta 4.12 y 4.13 calculada por el software Minitab.

TABLA 4.11
VALOR DE LA RELACION SEÑAL-RUIDO CALCULADA PARA LOS
DIFERENTES NIVELES EN LOS FACTORES CANTIDAD DE RESINA Y
SOLVENTE A COMPLETAR UTILIZANDO EL CRITERIO “MENOR ES MEJOR”
PARA LA INTENSIDAD DE MATIZ

Niveles de completación (%)	Ctd. de Resina a completar (S/R ± 0,01)	Ctd. de Solvente a completar (S/R ± 0,01)
50	-35,68	-35,71
75	-35,59	-35,15
100	-34,98	-35,39
Delta	0,71	0,56
Rank	1	2

El análisis de la tabla anterior es el siguiente:

- El nivel 1, 2 y 3 corresponden al 50, 75 y 100 % de las cantidades de resina y solvente a completar.
- Se debe de considerar la relación señal-ruido mayor, ya que de esta manera se consigue el nivel donde la señal ruido perturbó menos a los resultados recolectados de la intensidad de matiz “L”. Para el caso de la cantidad de resina a completar ocurre cuando se completa con el 100 % y para la cantidad de solvente a completar se observa con un nivel de 75 %, aunque los valores para este último factor son similares, se puede considerar que el efecto de la señal ruido es similar en los tres casos. La variación delta correspondiente a la diferencia entre el valor máximo y mínimo

de la relación S/N, es de 0,71 para la completación con resina y de 0,56 para la completación con solvente.

- La variable Rank expresa el orden de importancia en la incidencia de los factores sobre la variable “L”, por lo tanto la cantidad de resina a completar es la variable de mayor efecto. Cabe destacar los factores delta y Rank, son consideraciones de la metodología Taguchi ofrecidos por el software Minitab.

TABLA 4.12
VALOR DE LA RELACION SEÑAL-RUIDO CALCULADA PARA LOS DIFERENTES NIVELES EN LOS FACTORES CANTIDAD DE RESINA Y SOLVENTE A COMPLETAR UTILIZANDO EL CRITERIO “MAYOR ES MEJOR” PARA LA VISCOSIDAD STORMER

Niveles de completación (%)	Ctd. de Resina a completar (S/R ± 0,01)	Ctd. de Solvente a completar (S/R ± 0,01)
50	16,46	12,53
75	15,77	15,48
100	14,45	18,66
Delta	2,01	6,13
Rank	2	1

De la siguiente tabla se puede deducir:

- Al igual que para la intensidad de matiz, los niveles 1, 2 y 3 corresponden a 50, 75 y 100 % de las proporciones a completar de ambos factores.
- Cuando se completa 50 % de resina y 100 % de solvente se obtienen los valores de la relación S/R mayores. La variación de los valores delta para cada factor son de 2,01 para la resina y 6,13 para el solvente correspondiente a la diferencia entre la relación máxima y mínima de S/R.

- La cantidad de solvente a completar se considera como la variable con mayor incidencia sobre la variable Viscosidad Stormer, según la consideración que ofrece la metodología estadística a través del factor Rank.

Tomando en cuenta el comportamiento de los resultados obtenidos en función del análisis estadístico realizado, y del comportamiento que se debe de considerar para la obtención de una dispersión con características de finura y estabilidad adecuadas, se puede considerar que realizando una completación con el 100 % de las materias primas restantes de la fase de premezcla se obtiene la base negra (BN-1) con las características y exigencias que aparecen en la tabla 4.1 de este capítulo.

En la siguiente tabla se presenta la formulación propuesta para la base negra (BN-1):

TABLA 4.13
FORMULACIÓN PROPUESTA PARA LA SUSTITUCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS ACTUALES DE LA DISPERSIÓN NEGRA (BN-1)

Materia Prima - Codificación	Proporción en mezcla ($P_r \pm 0,05$) %
RC-B	34,71
AD-2	0,79
Ste-2	6,71
Ste-3	7,29
PN-1	11,97
Ste-3*	2,22
RC-B*	17,85
Ste-3*	0,28
RC-B*	17,85
Ste-3*	0,28

Nota: Los códigos con asterisco (*) pertenecen al orden en que deben ser agregados en la etapa de completación.

4.5.- VALIDACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

4.5.1.- Implementación de la nueva base negra obtenida del proceso de dispersión en el fondo negro de alto desempeño

Según los resultados obtenidos del desarrollo de los diseños experimentales 1 y 2 se obtuvieron las condiciones y las materias primas para la sustitución referente a la fase de premezcla y de completación en la etapa de dispersión de la base negra propuesta. Esta base es utilizada en la formulación del fondo negro de alto desempeño, principalmente para impartir la coloración del mismo. La diferencia de la base negra propuesta con la actual se debe a las sustituciones de la resina RC-1 (de tipo alquídica) por la RC-B (de tipo poliéster) y la mezcla de solventes Ste-1/Ste-2 de menor diferencia de polaridad que la mezcla Ste-2/Ste-3.

4.5.2.- Evaluación de las posibles resinas en la formulación del fondo negro de alto desempeño

Para la formulación del fondo negro de alto desempeño, se utilizó un esquema experimental basado en la sustitución de la resina actual (RC-1) por cualquiera de las 4 resinas que se listan a continuación: RC-A, RC-B, RC-D y RC-C, las tres primeras corresponden a resinas de tipo Poliéster y la última a una Alquídica o Poliéster modificada. Además se utilizó como parte de la secuencia experimental las combinaciones generadas por la mezcla de 2 resinas. De esta manera se realizaron un total de 10 corridas experimentales, en las que se consideraron las propiedades finales del producto que se nombran en el paso 4.2.1, con la finalidad de verificar la igualdad o el mejoramiento de las mismas, generadas por la influencia de la o las resinas que participan en la sustitución.

En la tabla que aparece a continuación se muestran el resultado de las propiedades evaluadas en cada corrida experimental.

TABLA 4.14

VALORES DE LAS PROPIEDADES EVALUADAS REPORTADAS PARA CADA UNA DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES REFERIDAS A LAS RESINAS Y MEZCLA DE RESINAS UTILIZADAS EN LA SUSTITUCIÓN

Muestra	Sólidos (S ± 0,1) (%)	Brillo(60) (Br ± 0,1) (adim)	Flexibilidad	Peso/Galón (P/G ± 0,001) (Kg/gal)	Viscosidad (μ ± 0,01) (s)	Adhesión (Ad ± 0,01) (%)	Escurrido (Es ± 0,1) (mils)	Dureza (Du ± 0,1) (Knoops)
Patrón (RC-1 / BN-1 ACTUAL)	45,8	90,4	No aprobado (CD)	3,783	29,82	100,00	1,7	15,0
1* RC-A • ◊	50,1	88,4	Aprobado (SD)	3,733	31,80	100,00	1,7	19,0
2* RC-B ∴ ◊	50,4	88,1	Aprobado (SD)	3,769	31,45	100,00	1,8	18,5
3* RC-C ∴ ◊	51,1	88,5	Aprobado (SD)	3,778	31,60	100,00	1,9	15,0
4* RC-D ∴ ◊	51,0	89,7	Aprobado (SD)	3,760	29,24	100,00	2,1	19,5
5* RC-A/ RC-B ∴ ◊	48,1	85,6	Aprobado (SD)	3,758	30,38	100,00	1,8	9,7

Leyenda:

* : Se utilizó la base negra BN-1 propuesta, resultante del DOE1 y DOE 2

• : Uso de aditivo para mejorar la dureza (C-1)

◊ : No se utilizó aditivo para mejorar la dureza

∴ : Se adiciono un 5% del total cargado de la mezcla H12-H257 en proporción 50-50

CD: Con desprendimiento

SD: Sin desprendimiento

CONTINUACIÓN TABLA 4.14
VALORES DE LAS PROPIEDADES EVALUADAS REPORTADAS PARA CADA UNA DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES
REFERIDAS A LAS RESINAS Y MEZCLA DE RESINAS UTILIZADAS EN LA SUSTITUCIÓN

Muestra	Sólidos (S ± 0,1) (%)	Brillo(60) (Br ± 0,1) (adim)	Flexibilidad	Peso/Galón (P/G ± 0,001) (Kg/gal)	Viscosidad (μ ± 0,01) (s)	Adhesión (Ad ± 0,01) (%)	Escurrido (Es ± 0,1) (mils)	Dureza (Du ± 0,1) (Knoops)
6* RC-A/ RC-D ∴ ∅	51,4	83,9	Aprobado (SD)	3,706	31,50	100,00	1,6	11,4
7* RC-A/ RC-C ∴ ∅	49,1	75,4	No aprobado (CD)	3,774	28,50	100,00	1,8	11,3
8* RC-B/ RC-D ∴ ∅	50,3	85,5	Aprobado (SD)	3,692	30,26	100,00	1,8	18,5
9* RC-B/RC-C ∴ ∅	47,5	87,1	Aprobado (SD)	3,738	30,02	100,00	1,7	18,5
10* RC-D/ RC-C ∴ ∅	46,1	88,1	Aprobado (SD)	3,756	29,80	100,00	1,6	18,5

Leyenda:

* : Se utilizó la base negra BN-1 propuesta, resultante del DOE1 y DOE 2

• : Uso de aditivo para mejorar la dureza (C-1)

∅ : No se utilizó aditivo para mejorar la dureza

∴ : Se adiciono un 5% del total cargado de la mezcla H12-H257 en proporción 50-50

CD: Con desprendimiento

SD: Sin desprendimiento

En la tabla 4.1 aparecen reflejados los valores límites entre los cuales se deben de ubicar las mediciones de las pruebas que aparecen reportada en la tabla 4.14, con estos y los valores de la celda 1 referentes a la muestra patrón se pueden establecer las comparaciones pertinentes entre una misma prueba para diferentes resinas. Cabe destacar que los valores reportados en la tabla 4.14 son resultado del promedio de dos mediciones para el caso de los sólidos y de tres mediciones para brillo, viscosidad, dureza y escurrido. De esta manera se tiene:

- Todas las corridas experimentales de la 1 a la 10 presentaron valores de porcentajes de sólidos por encima del valor patrón y de los valores límites establecidos en el plan de inspección del producto. Esto quiere decir que con la inclusión de cualquiera de las resinas y la base negra sustituta, el porcentaje de materiales que no se volatiliza en la mezcla aumenta. Cabe destacar que los valores límites se plantean en función del material actual y en éste caso el valor es reportado en función de la RC-1, lo que sugiere una modificación de dichos valores una vez que se haya seleccionado la o las resinas que participaran en la nueva formulación. Además un porcentaje de sólidos adecuado favorece al cubrimiento del sustrato en una cantidad menor de pases de aplicación.
- Con respecto al brillo todas las corridas presentaron valores menores que la muestra patrón, sin embargo se encuentran entre los límites establecidos para dicha prueba con una tendencia al límite superior de la misma.
- La flexibilidad es medida a través de la ausencia o presencia de desprendimiento del fondo del sustrato metálico. De esta manera todas las corridas experimentales, exceptuando la muestra patrón y la corrida N° 7 referente a la mezcla de resinas RC-A y RC-C, no presentaron desprendimiento alguno del fondo sobre el sustrato, lo que da por aprobado cualquiera de las sustituciones con respecto a ésta propiedad.
- Los valores reportados para el peso por galón de cada una de mezcla presentaron valores similares a la muestra patrón que además se encuentran dentro de los parámetros establecidos para la aprobación del producto.

- Las medidas de viscosidad se encuentran dentro de los valores del plan de inspección del fondo negro de alto desempeño. Cabe destacar que los ajustes necesarios para la obtención de un valor adecuado, pueden alcanzarse a través de la carga de un adicional de los solventes que participan en la formulación, en este caso se utiliza la mezcla Ste-2/Ste-5 en una proporción 50-50 de ser necesarios.
- La adhesión del fondo sobre el sustrato se mide a través de la presencia o ausencia de desprendimiento del recubrimiento del sustrato metálico, cuando éste último es sometido a cortes que son realizados sobre la superficie. En las 10 corridas experimentales e incluyendo a la muestra patrón se observa que todas son aprobadas por no presentar desprendimiento.
- El escurrido puede ser observado cuando se forma una gota o una cortina de fondo sobre una superficie plana o inclinada. El éxito de la prueba se consigue cuando este fenómeno ocurre a altos espesores, lo que permite la aplicación de un número de pases óptimos que aseguren el cubrimiento, con la salvedad de la que la pintura no escurra. Para el caso del fondo negro de alto desempeño, el rango de valores entre los que se debe de encontrar es entre 1,8 y 2,5 mils, de las cuales las corridas 2, 3, 4, 5, 7 y 8 presentaron valores dentro de los límites establecidos.
- La dureza de una capa de pintura seca (después de haber sido aplicada y horneada) representa la resistencia que ofrece la misma a ser deformada por el empleo de algún esfuerzo. La actual formulación del fondo negro de alto desempeño indica que los valores de la misma oscilan entre 12 y 15 Knoop. Esta propiedad ha sido mejorada en la mayoría de los experimentos, excluyendo las corridas 4, 5, 6 y 7 donde se encontraron valores por debajo de los establecidos, lo que reflejan un uso posterior de aditivos que mejoren la dureza del fondo sobre el sustrato. Cabe destacar que las corridas experimentales de la 2 a la 10, no incluyeron dentro de la formulación del producto el aditivo para el mejoramiento de la dureza, lo que indica que los resultados favorables en esta propiedad son efecto de la implementación de las posibles resinas o mezcla de resinas sustitutas.

La combinación de las materias primas que conforman la formulación del fondo negro de alto desempeño son las encargadas de aportar las propiedades del producto final tales como: la adhesión, la flexibilidad, la dureza, la resistencia química y a la intemperie, el brillo, entre otros. Para el caso del fondo con el que se está trabajando, la resina (bien sea alquídica o poliéster), la resina epóxica RC-2 y la melamina (Mel-1), son las encargadas de aportar las propiedades antes mencionadas. El fenómeno que permite la interacción de estos tres polímeros se conoce como curado o entrecruzamiento, y ello ocurre cuando las resinas transforman su estructura química en una red tridimensional. Para ello se debe de utilizar un agente entrecruzante adecuado, en el caso del fondo negro de alto desempeño, la melamina es el agente entrecruzante que permite la interacción de la RC-2 y cualquiera de las resinas poliéster o alquídicas que participen en la formulación. A este tipo de reacciones se le debe de suministrar altas temperaturas para aumentar la velocidad de reacción del entrecruzamiento de las moléculas, y de esta manera conformar un sistema termoestable. Ocurrido esto, la resina epóxica (RC-2) promueve por su parte las propiedades de adhesión y resistencia química. Las resinas de tipo poliéster o poliéster modificado (alquídica) aportan las propiedades de brillo, duración y resistencia al calor. Las resinas poliéster y epóxicas tienen en común el mejoramiento de las propiedades de flexibilidad y dureza del fondo sobre el sustrato (Rubin, 2002).

La verificación de los efectos que generaron la resina o mezcla de resinas potencialmente sustitutas de la resina actual, puede ser visualizada a través de un análisis de varianza (ANOVA), en la que de igual manera que los diseños experimentales antes realizados, el valor estadístico “p” definirá la incidencia sobre las propiedades finales evaluadas, sí al compararlos con el valor α (igual a 0,05), éstos son menores.

En la tabla 4.15 se presenta el resultado del análisis.

TABLA 4.15
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA LA VERIFICACIÓN DE LA
INCIDENCIA DE LAS RESINAS QUE PARTICIPAN EN LA SUSTITUCIÓN SOBRE
LAS PROPIEDADES FINALES: % SÓLIDOS, BRILLO, VISCOSIDAD Y DUREZA
DEL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO

Variable controlada	Propiedades	Valor estadístico (p ± 0,001) (adim)
Resina	% Sólidos	0,005
	Brillo	0,057
	Viscosidad	0,000
	Dureza	0,000
Mezcla de resinas	% Sólidos	0,000
	Brillo	0,000
	Viscosidad	0,001
	Dureza	0,000

Como se puede evidenciar para las propiedades seleccionadas, para el caso de la sustitución con cualquiera de las cuatro resinas disponibles, las mismas pueden incidir sobre los valores de las propiedades: % sólidos, viscosidad y dureza, ya que en estas se obtuvieron valores de “p” menores a “ $\alpha = 0,05$ ”.

Por otra parte empleando cualquiera de las mezclas de resinas sustitutas de la RC-384, se obtienen valores de “p” menores a 0,05 y por ende se consideran que generan un efecto sobre las 4 propiedades finales del fondo negro de alto desempeño que se listan en la tabla 4.15.

Las demás propiedades tales como la adhesión y la flexibilidad presentan valores cualitativos y por ende no se consideraron en este análisis. Para el caso del escurrido, las medidas reportadas en la tabla 4.14 corresponden al promedio de mediciones de espesor en una misma línea horizontal, y en la mayoría de los casos los valores medidos eran iguales, por lo que no se puede calcular la desviación

estándar de los resultados obtenidos para esta propiedad y por consecuente no es posible el cálculo del valor estadístico “p”.

Otro punto a considerar como factor para la selección de la resina o mezcla de resina sustituta en la formulación del fondo negro de alto desempeño, es el costo asociado a la adquisición de estas materias primas. En la siguiente tabla se muestran valores económicos referenciales de las 4 resinas utilizadas.

TABLA 4.16
VALORES ECONÓMICOS REFERENCIALES DEL COSTO ADQUISITIVO DE LAS RESINAS POTENCIALES SUSTITUTAS

Materia prima	Costo adquisitivo (\$ / Kg)
RC-1 (valor patrón)	1,22
RC-A	1,30
RC-B	1,12
RC-D	1,36
RC-C	0,87

Según el comportamiento de los resultados de las mediciones de las propiedades finales del fondo negro Bundy, se puede decir que la resina o mezcla de resinas bien sea poliéster o poliéster modificada, inciden sobre las propiedades finales del producto, considerando las reacciones de entrecruzamiento con la RC-2 y la melamina (Mel-1). Por lo tanto se debe de seleccionar la que exhiba los mejores valores comparado con los de la actual formulación, tomando como meta la igualdad o el mejoramiento de dichas propiedades. Además el costo adquisitivo de las 3 resinas que exhibieron mejor comportamiento es decir la RC-A, RC-B y RC-F tienen un porcentaje de incremento o disminución con respecto a la RC-1.

Tomando en consideración lo descrito en el párrafo anterior, la resina RC-D, de tipo poliéster y de fabricación local, mejoró el comportamiento de las

propiedades evaluadas en el fondo negro de alto desempeño, tales como la dureza, el escurrido, la adhesión y la flexibilidad. Cabe destacar que la inclusión de esta resina, no se requiere la adición del aditivo (C-1) para el mejoramiento de la dureza. Y a pesar de ser la materia prima con mayor costo adquisitivo, su comportamiento en las propiedades del producto final la convierte en potencial sustituta de la RC-1.

La formulación propuesta con la selección de la RC-D, se muestra en la tabla a continuación:

TABLA 4.17
FORMULACIÓN PROPUESTA PARA EL FONDO NEGRO DE ALTO DESEMPEÑO CON LA INCLUSIÓN DE LA RESINA RC-D Y LA BASE NEGRA (BN-1) PROPUESTA

Materia Prima - Código	Porcentaje en mezcla ($P_o \pm 0,2$) %
BN-1*	43,9
DA-1	5,3
RC-D	7,0
Mel-1	25,1
RC-2	4,4
AD-1	0,8
Ste-4	5,1
Ste-2	3,9
Ste-5	4,6

Nota: La base negra (BN-1)* es la dispersión optimizada en los diseños experimentales 1 y 2 del presente trabajo.

4.6.- EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO – BENEFICIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE

4.6.1.- Determinación de la relación costo-beneficio para la formulación propuesta del Fondo Negro de alto desempeño.

Para la determinación de la relación costo-beneficio se debe de considerar que los costos fijos asociados a depreciación, financiamiento y amortización para la ejecución del proyecto son inalterables y a su vez un valor constante para efecto de cálculos. Por otro lado, los costos variables que se consideraron en esta etapa son los costos operativos, que a su vez comprenden los costos de materia prima, costos de tiempo de premezcla, costo de tiempo de molienda y costos de tiempo de mezclado. Los tres últimos se consideraron constantes para los cálculos, ya que en la elaboración de la dispersión y del fondo negro de alto desempeño, las condiciones del proceso no fueron alteradas. De esta manera el costo asociado a las materias primas es la única variable a que se tomo en cuenta para la determinación de este indicador. En la siguiente tabla se muestra los valores estimados tanto para la formulación actual como para la formulación propuesta.

TABLA 4.18
VALORES DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LA FORMULACIÓN ACTUAL Y LA FORMULACIÓN PROPUESTA DEL FONDO DE ALTO DESEMPEÑO

	Formulación Actual	Formulación Propuesta
Costo variable (\$/Kg)	13,7	11,6
Precio de venta (\$/Kg)	20,0	20,0
Beneficio (\$/Kg)	6,3	8,4
Relación costo-beneficio (%)	215,3	138,7

Cabe destacar que el ingreso aproximado calculado en ambos casos, corresponde al valor monetario del fondo negro de alto desempeño, estimado a

través de la herramienta Gross Profit. En el Apéndice C, aparecen los cálculos referentes a la estimación de los valores que aparecen en la tabla 4.18.

Como se puede observar el mayor beneficio se obtiene cuando se utiliza la formulación propuesta, es decir que implantándola los costos variables para la obtención del fondo negro de alto desempeño disminuyen y las ganancias por cada galón producido aumentan. Además cuando se dividen los costos variables entre los beneficios, la razón menor determina la mejor solución y en este caso sucede cuando se utiliza la formulación propuesta.

4.6.2.- Análisis y selección de alternativas propuestas

Tal como se especifico en el paso 3.6.2 del marco metodológico, el análisis y la selección de la alternativa propuesta se realizó en función de: menor valor de la relación costo-beneficio, menor costo variable, disposición de la resina con respecto a su localidad y producción e igualdad o mejoramiento en las propiedades finales del fondo. De esta manera, se puede decir:

- Para la dispersión (BN-1).

La resina seleccionada es la RC-B, de fabricación local y de usos diversos en la formulación de otros productos. La utilización de la misma en la dispersión disminuye las perdidas en el inventario generadas por la adquisición de la RC-1. Además no afecta las propiedades finales de la dispersión, ya que los valores medidos se encuentran dentro de los límites establecidos para la aprobación del producto. Minimiza los costos variables en un 7,6 % con respecto al valor actual (Apéndice C). De esta manera la sustitución de la materia prima actual por dicha resina, favorece el desempeño del producto.

- Para la elaboración del fondo negro de alto desempeño

Se seleccionó la base negra propuesta y la RC-D de fabricación local y usada en la elaboración de otros productos, lo que se traduce al igual que en la dispersión, en la disminución de las perdidas en el inventario por la compra de la resina actual.

Mejora las propiedades del fondo, tal como se muestra en la tabla 4.14 y con la inclusión de la misma no se hace necesario el uso de aditivos para mejorar la dureza del sistema sobre el sustrato. La utilización de la RC-D en la formulación, arroja el menor valor de la relación costo - beneficio, que se evidencia además en la minimización de los costos variables en un 15,3 % (Apéndice C).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adams, L. (2004). **Estudio Crítico de los distintos enfoques al problema de diseños de parámetros.** [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0727104-091316>
2. Alfin, M. y Pérez, R. (1998). **Formulación de una base neutra Anticorrosivo para la producción de fondos de colores para el mercado Automotriz,** Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
3. Anderson, D. 1999. **Estadística para Administración y Economía.** 7 ma Edición. International Thomson Editores. Sta. María la Ribera. México.
4. Berté, A. (2006) **Temas básicos de resinas para recubrimientos.** [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.sater.com.ar/articulostecnicos>.
5. Bas E. (1990). **Coloración de Materias Plásticas.** Primera Edición. Centro Español de Plásticos. Santa Perpetua de Mogoda. España
6. Fernández, Y. y Lares, M. (2003), **Optimización del proceso empleado en la dispersión de pigmentos para la elaboración de pinturas de Recabado Automotriz,** Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
7. Gómez M. (2006). **Material de inducción general: Historia corporativa, Historia local, nuestros valores y principios.** Recursos Humanos Dupont Performance Coatings Venezuela, C.A. Valencia. Venezuela

8. Ivinsky, M. (2007). **Introducción a la teoría de Costos.** [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos4/costos/costos.shtml>
9. Jiménez G. y Pérez M. (2005) trabajo de grado: **Estandarización del proceso de ajuste de resinas en Dupont de Venezuela C.A.,** Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
10. Mejía, C. (2005). **Agentes dispersantes. Herramientas que facilitan la fabricación de pintura.** Impralatina. Colombia
11. Mondagrón, A. (2002). **Indicadores Económicos.** Revista de información y análisis núm. 19. Ciudad de México D.C. México
12. Odian, G. (2004). **Principles of Polymerization.** Fourth Edition. Wiley Interscience. Staten Island. New York.
13. Romero Y. (2003), **Factibilidad Técnica de la implementación de un vehículo balanceado (binder) universal para la manufactura de fondos automotrices blanco, negro y gris en la empresa Dupont de Venezuela C.A.,** Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
14. Rubin, I. (2002). **Materiales Plásticos Propiedades y Aplicaciones.** Cuarta Edición. Editorial Limusa. México.
15. Sampieri, R. (2004). **Metodología de la investigación.** (3a. ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores. Ciudad de México D.C. México.
16. Sociedad Latinoamericana para la calidad. (2000). **Análisis Costo/Beneficio.** [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.gestionescolar.cl/UserFiles>

17. Turner, G.P. (2000). **Introduction to the paint Chemistry**. Third Edition. Chapman & Hall.
18. Wade, L.G. (2004). **Química Orgánica**. Cuarta Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana. Naucalpan de Juárez, Edo. México.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y en función de los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo, se muestran a continuación las conclusiones en la factibilidad de la sustitución de una resina alquídica en la formulación actual de la dispersión negra y el fondo negro Bundy.

- Caracterizar la dispersión y el fondo negro de alto desempeño con la resina actual
- 1.- La viscosidad Stormer media de la dispersión de la base negra actual con la RC-1 es igual a $(10,0 \pm 0,1)$ poises.
 - 2.- La finura de la dispersión de la base negra actual con la RC- 1, presenta un valor medio de 0,25 mils.
 - 3.- Las propiedades medidas y consideradas para la sustitución de la RC-1 en la formulación actual del fondo negro de alto desempeño son: % de sólidos, adhesión, flexibilidad, escurrido, brillo, viscosidad copa Ford 4 y dureza.
- Evaluar las resinas disponibles
- 4.- Las resinas RC-A, RC-B y RC-C son las que cumplen con las características finales para la sustitución de la RC-1 en la dispersión negra (BN-1).
 - 5.- Las resinas RC-A, RC-B, RC-C y RC-D son las que cumplen con las características finales para la sustitución de la RC-1 en el fondo negro de alto desempeño.
- Determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la dispersión y el fondo negro de alto desempeño con las resinas evaluadas

- 6.- El tiempo necesario para lograr la humectación adecuada del pigmento negro en la fase de premezcla es de 35 minutos, con cualquiera de las resinas utilizadas (RC-A, RC-B y RC-C).
- 7.- Una finura de 0,25 mils garantiza una dispersión adecuada en función de la coloración aportada, para cualquiera de las 3 resinas utilizadas.
- 8.- El análisis de varianza de las diferentes resinas usadas en el diseño experimental 1, indica que las mismas inciden sobre la intensidad de matiz de la premezcla, ya que el valor estadístico “p” presentó un valor de cero.
- 9.- El análisis de varianza de la cantidad de solvente a completar en el diseño experimental 2, demuestra la incidencia de éste factor sobre la viscosidad Stormer de la base negra, ya que el valor estadístico “p” presento un valor de (0,006 ± 0,001).
- 10.- La relación señal-ruido calculada para la cantidad de resina a completar en el diseño experimental 1 (DOE 1), indica que con una proporción de 35 % se obtiene el mayor valor de dicha relación.
- 11.- La relación señal-ruido estimada para la cantidad de solvente a completar en el diseño experimental 1, demuestra que con una proporción del 50 % se alcanza la maximización de dicha relación.
- 12.- La mezcla de solventes Ste-2/Ste-3 presenta la mayor relación señal-ruido.
- 13.- Con una proporción del 100 % de resina en la fase de completación de la etapa de dispersión (DOE 2), se obtiene la relación señal-ruido maximizada con respecto a la intensidad de matiz.
- 14.- Con una proporción del 100 % de solvente a completar en la etapa de dispersión se obtiene la mayor relación señal-ruido con respecto a la viscosidad Stormer.

15.- La caracterización de la RC-A en la formulación del fondo negro de alto desempeño mostró las siguientes propiedades: porcentaje de sólidos ($50,1 \pm 0,1$) %, brillo ($88,4 \pm 0,1$) adim, escurrido ($1,7 \pm 0,1$) mils y dureza ($19 \pm 0,1$) Knoop.

16.- La inclusión de la RC-B en la formulación del fondo negro de alto desempeño presentó las siguientes propiedades: porcentaje de sólidos ($50,4 \pm 0,1$) %, brillo ($88,1 \pm 0,1$) adim, escurrido ($1,7 \pm 0,1$) mils y dureza ($18,5 \pm 0,1$) Knoop.

17.- La caracterización de la RC-C en la formulación del fondo negro de alto desempeño arrojó las siguientes propiedades: porcentaje de sólidos ($51,1 \pm 0,1$) %, brillo ($88,5 \pm 0,1$) adim, escurrido ($1,9 \pm 0,1$) mils y dureza ($15 \pm 0,1$) Knoop.

18.- La inclusión de la RC-D en la formulación del fondo negro de alto desempeño exhibió las siguientes propiedades: porcentaje de sólidos ($51,0 \pm 0,1$) %, brillo ($89,7 \pm 0,1$) adim, escurrido ($2,1 \pm 0,1$) mils y dureza ($19,5 \pm 0,1$) Knoop.

19.- La adhesión y la flexibilidad del fondo negro de alto desempeño elaborado con cualquiera de las cuatro resinas disponibles (RC-A, RC-B, RC-C y RC-D), no presentaron desprendimiento del sustrato.

20.- El análisis de varianza de las resinas potencialmente sustitutas de la RC-1 en el fondo negro de alto desempeño indica que éstas inciden sobre las propiedades: % de sólidos, dureza y viscosidad con valores menores al nivel de significancia de 0,05.

21.- El análisis de varianza de las mezclas de resinas potencialmente sustitutas en el fondo negro de alto desempeño, indica que las mismas inciden sobre las propiedades: % sólidos, brillo, dureza y viscosidad con valores menores a "p" igual a 0,05.

- Seleccionar la resina que cumpla con las propiedades requeridas para la dispersión y el fondo negro de alto desempeño

22.- La resina seleccionada para sustituir a la RC-1 en la dispersión de la base negra (BN-1) es la RC-B, con una proporción de 35 % en la fase de premezcla (DOE 1) y el 65 % restante en la fase de completación (DOE 2).

23.- La mezcla de solventes a utilizar en la formulación de la base negra (BN-1) es la Ste-2/Ste-3 con una proporción de 50 % en la fase de premezcla (DOE 1) y 50 % en la fase de completación (DOE 2).

24.- La viscosidad de la dispersión elaborada con la resina seleccionada es $(7,0 \pm 0,1)$ poises.

25.- La RC-D es la resina seleccionada para sustituir a la RC-1 en la formulación del fondo negro de alto desempeño, ya que presentó las mejores propiedades.

- Evaluar la factibilidad económica de la resina seleccionada

38.- La relación costo-beneficio de la alternativa propuesta es igual a 138,7 %, por lo tanto la implementación de la RC-D en el fondo negro de alto desempeño y la RC-B en la base negra (BN-1) es factible técnica y económicamente.

RECOMENDACIONES

Toda investigación que se desarrolla en una empresa debe ser sometida a evaluaciones con respecto al impacto que pueda generar la inclusión del mismo como parte del proceso que ha sido modificado. Para el caso de la sustitución de resinas en la formulación de fondos, y en específico la elaboración del fondo negro de alto desempeño, se recomienda:

- 1.- Para estudios posteriores evaluar la posibilidad de realizar la base negra (BN-1) con la RC-D empleada en la formulación del fondo. A su vez se deben de determinar las condiciones de la fase de premezcla y completación siguiendo un diseño experimental enfocado en el mejoramiento de la humectación del pigmento y desarrollo del color.
- 2.- Verificar en que otros fondos que se elaboren en la empresa se pueda presentar la problemática de humectación inadecuada del pigmento, por lo tanto basados en la metodología empleada en este trabajo se recomienda la verificación de otras resinas de fabricación local que permitan el desarrollo óptimo del color sin el uso de aditivos.
- 3.- Analizar la fase de completación de la etapa de dispersión empleando otros diseños experimentales, basados en diseños tipo full factorial y establecer comparaciones en función de los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo.
- 4.- Implementar la base negra propuesta en otras formulas de fondos bien sea de color negro o gris, y evaluar el desempeño y la estabilidad de dicha base con respecto a los demás componentes de la formula así como la obtención del color que se desee elaborar.