



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA TRANSPARENTE TERMOESTABLE CON
ÓPTIMAS PROPIEDADES DE APARIENCIA A UNA ENSAMBLADORA
AUTOMOTRIZ DEL MERCADO NACIONAL, MEDIANTE LA METODOLOGÍA
SEIS SIGMA**

Autora:

Br. Terina Vega

Tutor Académico:

Dr. Pereira Juan Carlos

Tutor Industrial:

Lic. Miguel Lecuna

Bárbula, Mayo de 2010



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA TRANSPARENTE TERMOESTABLE CON
ÓPTIMAS PROPIEDADES DE APARIENCIA A UNA ENSAMBLADORA
AUTOMOTRIZ DEL MERCADO NACIONAL, MEDIANTE LA METODOLOGÍA
SEIS SIGMA**

Autora: Terina Vega
Tutor Académico: Dr. Pereira Juan Carlos
Tutor Industrial: Lic. Miguel Lecuna
Año: 2011

RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como propósito fundamental la evaluación de un sistema transparente termocurable con óptimas propiedades de apariencia para ser adaptado a una ensambladora automotriz del mercado nacional. Para ello primeramente se definió la situación actual de la ensambladora con el sistema transparente termocurable empleado en la actualidad. Luego se prosiguió a realizar las pruebas de rutina y de desarrollo exigidas por la ensambladora al sistema transparente termocurable propuesto. Donde se obtuvo que el nuevo sistema transparente termocurable cumple con cada una de las exigencias del cliente exceptuando el escurrido. Por lo que se propuso analizar la cantidad del agente anti-escurrido que contenía el transparente. Se realizó también una comparación entre las propiedades del sistema transparente termocurable propuesto y el que se emplea actualmente de manera de establecer una diferencia notable entre ellos. Y por último se determinó el nivel sigma a las propiedades de apariencia que posee el sistema transparente termocurable a ser adaptado a la ensambladora nacional obteniéndose valores altos con lo que se puede concluir que dicho sistema brinda un mejor brillo y un mejor nivelado que el empleado actualmente por la empresa y además cumple con la mayoría de las exigencias del cliente.

DEDICATORIA

A **mi mamá**, por ser el pilar de mi vida y mi fuente de inspiración, por ti luche para lograr esta meta.

A **mis sobrinos**, alí, mariett e Ibrahim, por darle alegría a mis días y mostrarme lo maravilloso que es ser niño.

A **Valentín**, por estar siempre a mi lado y amarme incondicionalmente, por ser la suerte de mi vida.

Teri

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a **Dios Padre Todopoderoso** porque es el poder superior con el que cuento todos los días, el me ha ayudado a llegar hasta donde estoy y nunca me abandona.

A **mis padres**, porque gracias a ellos soy quien soy, y en especial a mi madre por perder su tiempo por mis ilusiones y por haber cambiado llorar por luchar en mi nombre. GRACIAS!

A **mis hermanas** porque estuvieron en los momentos más difíciles de mi vida y nunca dejaron de creer en mí.

A **Giobeiri Silvera y Marleny Fernández** porque fueron esa mano amiga que me levantaban cada vez que caía.

A **mis amigos**, Barbara, Dama, Lennys, Miguel, Chepe, Ibranny, Freddy, Rafa, Kerly, Magda, Ely, Andrés y en especial a José Ángel Martínez que aunque muchas veces no entendía mi falta de tiempo para compartir con él, hoy en día está celebrando a mi lado este logro tan importante para mí.

A **María Bordonas**, por su apoyo y por las palabras de aliento que me ayudaban a seguir adelante.

A **Ruth Álvarez y Víctor Pérez** por guiarme siempre dentro de la carrera y brindarme su apoyo incondicional.

A **mis tutores** Juan Pereira y Miguel Lecuna por aportar todos sus conocimientos y esfuerzos para realizar este proyecto.

Al **jurado**, Xiomara Cardozo y Julissa Brizuela por todo el apoyo incondicional y por orientarme y compartir conmigo toda su inteligencia.

A **los técnicos del laboratorio de desarrollo**, Roberto, Elayne, Gustavo, Chino, Hector y especialmente a Orly Crespo porque me brindaron toda la ayuda posible para lograr esta meta.

A **Dupont Performance Coatings Venezuela C.A**, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de crecer como profesional y permitirme realizar este proyecto.

Y muy especialmente quiero agradecer a una persona que amo muchísimo, por sus consejos, por su apoyo, por su amor incondicional, por su comprensión, por su paciencia, por estar a mi lado en los momentos de felicidad y de tristeza, mil gracias **Valentín** te amo de aquí al infinito ida y vuelta infinitas veces.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág
Capítulo I. El Problema	
Introducción.....	11
I.1 Planteamiento del problema.....	13
I.2 Situación Actual.....	18
I.3 Situación deseada.....	18
I.4 Justificación.....	19
I.5 Objetivos	
I.5.1 Objetivo general.....	20
I.5.2 Objetivos específicos.....	20
Capítulo II. Marco Teórico	
II.1 Antecedentes de la investigación.....	21
II.2 Fundamentos teóricas.....	24
II.2.1 Pintura.....	25
II.2.2 Pintura Automotriz.....	26
II.2.3 Sistema de pintura automotriz.....	26
II.2.3.1 Sustrato.....	26
II.2.3.2 Cristales de fosfatos.....	27
II.2.3.3 Electro deposición.....	28
II.2.3.4 Fondo.....	29
II.2.3.5 Base color.....	30
II.2.3.6 Transparente.....	30
II.2.3.6.1 Resinas.....	30
II.2.3.6.2 Aditivos.....	34
II.2.3.6.3 Solventes.....	34
II.2.3.6.2.1 Solvencia y solubilidad.....	36
II.2.3.6.2.2 Tasa de evaporación.....	40
II.2.4 Defectos más comunes en las películas de pinturas que afectan su apariencia.....	44
II.2.4.1 Piel de naranja.....	44
II.2.4.2 Ecurrido.....	45
II.2.4.3 Solvente atrapado.....	45
II.2.5 Seis sigma.....	46
II.2.5.1 Ventajas de la metodología seis sigma.....	48
II.2.7 Principios de Seis sigma.....	50
II.2.8 Fases de Seis sigma.....	51
II.2.9 Esquema para el estudio de variables.....	52
II.2.10 Voz del cliente.....	52
II.2.11 Minitab.....	53
II.2.12 Medidas métricas de seis sigma.....	54

Contenido	Pág
II.2.12.1 Medidas basadas en oportunidades.....	54
II.2.12.2 Estadístico Z o índice Z.....	54
II.2.12.3 Índice de Capacidad real.....	56
Capitulo III. Marco Metodológico	
III.1 Tipo de investigación.....	58
III.2 Diseño de la investigación.....	58
III.3 Actividades a desarrollar para el cumplimiento de los objetivos planteados	59
III.4 Análisis estadístico de los datos.....	66
III.4.1 Gráfica de Probabilidades.....	67
III.4.2 Histogramas de Frecuencia.....	67
Capitulo IV. Análisis y Discusión de Resultados	
IV.1 Inspección del sistema transparente termocurable empleado actualmente por la ensambladora.....	68
IV.1.1 Voz del cliente.....	68
IV.2 Medición del nivel sigma del sistema transparente termocurable empleado por la ensambladora.....	70
IV.2.1 Nivel sigma del QMS vertical.....	70
IV.2.2 Nivel sigma del QMS horizontal.....	73
IV.2.3 Nivel sigma del Brillo (ángulo 20).....	75
IV.3 Estudio de la formulación de los sistemas transparentes termocurables en evaluación.....	78
IV.4 Evaluación del sistema transparente termocurable propuesto en estado líquido.....	79
IV.5 Evaluación del sistema transparente termocurable propuesto en estado sólido.....	81
IV.6 Comparación de las propiedades químicas y mecánicas del sistema transparente termocurable.....	90
IV.7 Medición del nivel sigma del sistema transparente termocurable propuesto.....	91
Capitulo V. Conclusiones	
V.1 Conclusiones de la investigación.....	96
Referencias Bibliográficas	97
Apéndice	
Apéndice A.....	99
Apéndice B.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág
Tabla II.1 Tipos de resinas más utilizadas en la industria de la pintura automotriz.....	32
Tabla II.2 Características más importantes de las etapas fundamentales de Seis Sigma.....	49
Tabla III.1 Pruebas realizadas en estado líquido.....	61
Tabla III.2 Pruebas realizadas al sistema transparente en evaluación en estado sólido.....	62
Tabla III.3 Continuación de las pruebas realizadas en estado sólido.....	63
Tabla IV. 1 Data recolectada del sistema transparente termocurable en evaluación.....	71
Tabla IV.2 Composición de los sistemas transparentes termocurables.....	78
Tabla IV. 3 Resultados obtenidos del sistema transparente termocurable en estado líquido.....	77
Tabla IV. 4 Resultados obtenidos de la inmersión al agua.....	80
Tabla IV. 5 Resultados obtenidos a la resistencia de xileno.....	83
Tabla IV. 6 Resultados de la resistencia al chipping.....	84
Tabla IV. 7 Resultados obtenidos de la prueba de rehorneo.....	86
Tabla IV. 8 Resultados obtenidos de la prueba de nivelado.....	87
Tabla IV. 9 Propiedades mecánicas evaluadas al sistema transparente termocurable.....	90
Tabla A. 1 Datos obtenidos de los pilotos preparados del sistema transparente termocurable propuesto.....	99
Tabla A. 2 Datos obtenidos del sistema transparente termocurable propuesto.....	100
Tabla A. 3 Datos obtenidos del nivelado vertical, horizontal y brillo (ángulo 20) del sistema transparente termocurable propuesto.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág
Figura I.1 Diagrama de flujo del proceso de producción de transparente.....	15
Figura II.1 Esquema representativo de la composición de la pintura de re acabados industriales.....	25
Figura II.2 Estructura de la resina acrílica.....	33
Figura II.3 Estructura de la resina melamínica.....	33
Figura II.4 Estructura de la resina alquídica.....	33
Figura II.5 Enlace de puente de hidrógeno.....	38
Figura II.6 Efecto de la solubilidad de la resina y del solvente en la viscosidad de la solución.....	39
Figura II.7 Efecto del tipo de solvente sobre la viscosidad de la solución.....	40
Figura II.8 Se muestra el retraso en la evaporación de un solvente en presencia de una resina.....	43
Figura II.9 Efecto de un corrimiento 1,5 sigma en procesos 3 sigma.....	47
Figura II.10 Efecto de un corrimiento 1,5 sigma en procesos 6 sigma.....	47
Figura II.11 Diagrama CTQ's para un proceso cualquiera.....	53
Figura IV.1 Diagrama de árbol de la voz del cliente.....	69
Figura IV. 2 Gráfica de probabilidad de nivelado vertical.....	72
Figura IV. 3 Histograma de la capacidad de proceso del nivelado Vertical.....	73
Figura IV. 4 Gráfica de probabilidad del Nivelado Horizontal.....	74
Figura IV. 5 Gráficas de análisis de distribución individual.....	74
Figura IV. 6 Histograma de la capacidad de proceso del nivelado Horizontal.....	75
Figura IV. 7 Gráficas del análisis de distribución individual del brillo ángulo 20.....	76
Figura IV. 8 Histograma de la capacidad de proceso del brillo ángulo 20.....	77

Contenido	Pág
Figura IV. 9 Prueba de resistencia a ácido sulfúrico.....	81
Figura IV. 10 Resistencia al agua y jabón.....	82
Figura IV. 11 Laminas después de la inmersión al agua.....	83
Figura IV. 12 Resistencia al impacto con piedras a temperatura ambiente.....	85
Figura IV. 13 Gráfica de probabilidad de escurrido.....	88
Figura IV.14 Gráfica de capacidad de proceso del Escurrido del sistema transparente termocurable.....	89
Figura IV. 15 Gráfica de probabilidad del nivelado vertical del sistema transparente termocurable.	92
Figura IV. 16 Gráfica de probabilidad del nivelado horizontal del sistema transparente termocurable.....	92
Figura IV. 17 Gráfica de probabilidad del brillo del sistema transparente termocurable.....	93
Figura IV. 18 Capacidad de proceso del nivelado horizontal.....	93
Figura IV. 19 Capacidad de proceso del brillo (ángulo 20).....	94
Figura IV. 20 Capacidad de proceso del nivelado vertical.....	94
Figura IV.21 Comparación de los niveles sigma de ambos sistemas transparentes termocurables.....	95
Figura B.1 Posición de la lámina.....	102
Figura B.2 Lámina en posición vertical.....	103
Figura B.3 Escurrido de la línea de carácter.....	104
Figura B.4 Equipo para la medición de espesores.....	106
Figura B.5 Copa Ford 4.....	107
Figura B.6 Equipo de Wave Scan.....	108
Figura B.7 Glossmeter.....	109
Figura B.8 Equipo para medir adhesión.....	111

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se basará en la adaptación de un sistema transparente termocurable (Clear-Coat), con óptimas propiedades de apariencia, a una ensambladora automotriz del mercado nacional, mediante la metodología seis sigma, lo que permitirá que Dupont Performance Coatings Venezuela C.A ofrezca productos de mayor calidad afianzando su prestigio y competitividad en el comercio nacional.

Para realizar la adaptación del sistema transparente termocurable a la ensambladora automotriz nacional es necesario disminuir su viscosidad. Teniendo en cuenta que sus propiedades químicas no varíen, por lo que es necesario realizarle las pruebas establecidas en el Procedimiento de Evaluación de Producto (PEP).

De esta forma se garantiza que el producto cumpla con las especificaciones del cliente.

En el contexto de la investigación se estudiará las teorías relacionadas a la pintura automotriz; la composición, características y propiedades de los transparentes; a los defectos más comunes en las pinturas que afectan su apariencia. Al igual, se incluyen las bases teóricas fijadas para la implementación de la metodología Seis Sigma.

Para lograr el objetivo general de la investigación resulta necesario comprender a través del estudio de las interacciones físicas y químicas el efecto que generan las variables entre la calidad del producto. Por esto, la investigación se apoya en los aportes que implica el conocimiento de las áreas de química orgánica, polímeros, y fenómenos interfaciales, además de los

conocimientos sobre control de calidad y estadística, que se encuentran dentro del perfil del licenciado en Química.

El trabajo especial de grado estará estructurado por cinco capítulos. En el capítulo I, el problema, se establece la formulación del problema, la situación actual y la deseada, así como también, los objetivos que se perseguirán durante la investigación, y finalmente la justificación de la investigación.

En el capítulo II: Marco Teórico, se presentan las bases teóricas y los antecedentes que sustentan esta investigación.

En el capítulo III: Marco Metodológico, se encontrarán las diferentes actividades y estrategias seguidas para lograr cada uno de los objetivos propuestos, y además se especifica el tipo y nivel de la investigación.

En el capítulo IV: se presentan el análisis y discusión de los resultados obtenidos en la realización de cada uno de los objetivos.

Por último en el capítulo V, se presentan las conclusiones obtenidas en la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta la formulación del problema, los principios y justificación de la investigación a realizar, así como también, los objetivos, tanto general como específicos, que permiten resolver, de manera coherente, la problemática planteada, además se define el alcance y la limitación del mismo.

I.1 Planteamiento del problema

La industria química ha entrado en una era de innovaciones tecnológicas sin precedentes. Una de las principales compañías dedicadas a la investigación y a la fabricación de múltiples productos que satisfacen las necesidades de la población en el mercado químico, es la organización conocida con el nombre de DuPont Performance Coatings Venezuela, C.A.

A nivel mundial, hoy en día esta empresa es reconocida por su gama de productos, desarrollándose en el campo de la química, incursionando en todos los aspectos de la vida moderna (vestimenta, alimentos, salud, protección, construcción, transporte, electrónica y energía). A nivel nacional, ocupa un nivel elevado en el desarrollo económico de Venezuela.

Los productos fabricados por la empresa en estudio son el resultado de una rigurosa investigación científica y especializada, donde la empresa ha tenido que utilizar los más avanzados equipos a nivel tecnológico. Actualmente, entre la gama de productos que DuPont ofrece al mercado se encuentran todos aquellos que satisfacen las necesidades de la industria automotriz.

Entre los productos manufacturados para el área automotriz se encuentran los sistemas transparentes termoestables que es la última capa de

pintura más externos en los cubrimientos automotrices y tiene como finalidad darle belleza a la superficie, así como, profundidad al color. Esta capa de pintura contiene una variedad de resinas, solventes y aditivos que son los que les confieren las propiedades principales al producto final, y por ende, la satisfacción del cliente.

El proceso de fabricación de los transparentes resulta de vital importancia para la empresa, ya que hoy en día el mercado de pinturas para el área automotriz se ha vuelto muy competitivo, por lo que la empresa caso en estudio se ha visto en la necesidad de innovar y mejorar sus productos, para mantener su calidad y demanda en el mercado actual, todo eso en aras de la búsqueda continua de satisfacción al cliente.

El proceso de producción del transparente termocurable se describe en la Figura N°1 y se reseña a continuación. En el laboratorio de desarrollo de pintura automotriz se realiza la *formulación*, donde se define la cantidad de cada aditivo, resina, producto intermedio y solvente que se necesita para cumplir con las propiedades exigidas por el cliente.

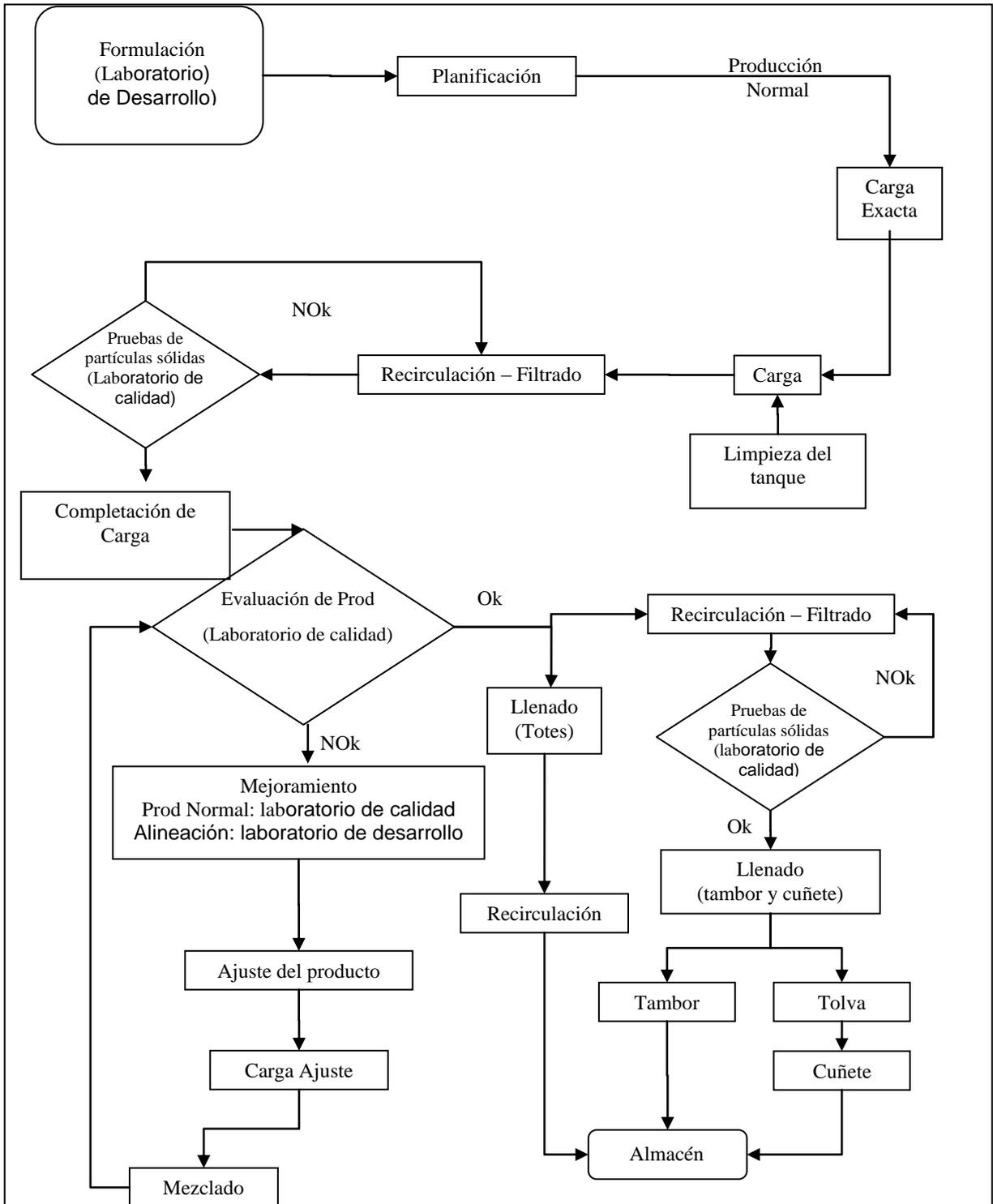


Figura I.1 Diagrama de flujo del proceso de producción de transparente.

Seguidamente, la formula llega a *planificación* donde se asigna la “*orden de producción*” (OP), que es un documento donde se encuentra el procedimiento detallado de las actividades que deben realizarse para la elaboración del transparente a través de una serie de fases secuenciales.

El área de planificación se lleva directamente la OP al área de *carga exacta*, área donde se pesan ciertas resinas, aditivos, solventes y productos intermedios en tambores, que posteriormente serán llevados a la zona de Carga. En el *área de carga*, se realiza el proceso de mezclado de los distintos componentes del Clear Coat en el tanque, seguidamente se recircula y se filtra por cierto tiempo a fin de eliminar las partículas sólidas del Clear Coat.

Luego se toman muestras del Clear Coat por el laboratorio de calidad y se realizan las *pruebas para detectar partículas sólidas o sucios* en la muestra. Si la prueba resulta positiva, continúa el proceso de recirculación y filtrado, de lo contrario se realiza la *completación de la carga*, es decir se adiciona el resto de los componentes (generalmente las resinas reológicas y solventes para llevar el producto a viscosidad de empaque) del Clear Coat y se agita durante cierto intervalo de tiempo.

Luego, el laboratorio de calidad *evalúa las propiedades del transparente*, las cuales se mencionan a continuación: viscosidad de empaque, apariencia, brillo, dureza, porcentaje de sólidos, resistividad, peso por galón, flexibilidad, adhesión, escurrido entre otros. Si las muestras no aprueban alguna de las evaluaciones anteriores, se tratan de *corregir o mejorar* en el laboratorio de calidad (en el caso que fuese una producción normal) o bien en el laboratorio de desarrollo automotriz (en el caso que fuese una alineación) a escala piloto. Cuando se determina la cantidad necesaria para realizar el *ajuste*, se anota en la OP los componentes necesarios para el ajuste y se envía al área de carga,

donde se adicionan los mismos, se realiza un proceso de mezclado y finalmente se vuelve a evaluar en el laboratorio de calidad.

En caso contrario, si las muestras inicialmente pasan las pruebas correspondientes, entonces se pasa a la fase de *llenado*, el cual consiste en el envasado en recipientes de acuerdo a la solicitud del cliente. El producto terminado se presenta al cliente en tres tipos de recipientes: totes, tambores y cuñetes; si el llenado se realiza en *totes*, se llena el tote directamente del tanque y luego se recircula y se filtra para recoger las partículas sólidas que se han podido obtener durante la completación de la carga. Si el llenado se va a realizar en *tambores y cuñetes*, se vuelve a recircular el transparente en el tanque para luego ser llenados. Si se llena en *tambores* se conecta directamente al tanque y si se llena en *cuñetes* previamente se llena una tolva y de la misma, se descarga el Clear Coat al cuñete. El llenado de cuñetes se realiza de esta forma para comodidad de los operarios y evitar derrames del producto terminado. Finalmente, el producto terminado es trasladado al almacén para luego ser despachado.

La gran importancia de este producto para la industria automotriz, deriva principalmente de sus características. DuPont Performance Coatings Venezuela, C.A. debe brindar un producto de alta calidad, que idealmente no presente ningún tipo de defecto al momento de ser aplicado sobre la pieza automotriz del cliente. Sin embargo, entre los productos de la empresa ofrece existe un sistema transparente termocurable que brinda valores de calidad bajos.

I.2.- Situación Actual

DuPont Performance Coatings Venezuela C.A es reconocida por la calidad de sus productos y servicios destinados a suplir los requerimientos

de la industria automotriz a escala nacional a empresas como General Motors (GMV), Mitsubishi Motors (MMC), Ford Motors, Chrysler, Toyota, Ford, Mack de Venezuela entre otros, y a nivel internacional a países como Colombia, Ecuador y Perú. Sin embargo, una de estas ensambladoras emplea un sistema transparente en sus carrocerías, el cual le brinda a la película un bajo nivelado proporcionando una apariencia de baja calidad.

I.3.- Situación Deseada

DuPont Performance Coatings Venezuela C.A, es una empresa pionera en tintas automotrices e industriales, en la cual se fabrican un gran número de pinturas, fondos y reacabados, de cuyo proceso de producción ha surgido la imperiosa necesidad de desarrollar e implantar políticas de mejoras de rendimiento de los productos terminados que ayuden a cubrir las expectativas y requerimientos de eficiencia, calidad, productividad y competitividad en el mercado, así como la comercialización de los productos.

En el desarrollo de productos automotrices, una de las situaciones más comunes es diseñar, desarrollar y adaptar productos que satisfagan las exigencias de las ensambladoras, respetando los lineamientos de las normas de calidad y medio ambiente, nacionales y corporativas. Para lograr esto, se requiere de un continuo entrenamiento y conocimiento de las necesidades planteadas por el cliente para adaptarse a las exigencias del mercado.

Por tal motivo, Dupont Performance Coatings C.A requiere incursionar un nuevo producto en el mercado nacional, el cual satisfaga a sus clientes y sea de muy buena calidad, con la finalidad de seguir creciendo como una empresa que garantiza la calidad de sus productos.

I.4.- Justificación

Desde el punto de vista académico, la presente investigación permitirá cumplir con el último requisito académico exigido para la obtención del título de Licenciado en Química.

El desarrollo de este estudio es indispensable, ya que actualmente la empresa, basada en sus políticas de mejoramiento continuo, se ha trazado como objetivo, la corrección de sus fallas o deficiencias en los procesos de producción. De tal forma que le permita mejorar los mismos, disminuir los desperdicios como procesos e incrementar sus rendimientos de producción, así como también, obtener la totalidad de las cuentas de sus clientes. De este modo, podrá lograr productos y servicios de calidad a un costo competitivo, orientados a satisfacer los requerimientos de los clientes de Venezuela y del mundo, respetando a la comunidad y al medio ambiente contribuyendo constantemente a un negocio saludable.

Esta investigación también posee relevancia en cuanto al mejoramiento de la calidad del producto que se ofrece. Los clientes tendrán mayor confianza en la calidad de los productos que despacha DuPont Performance Coatings Venezuela C.A. y además se fortalecerá el prestigio de la empresa.

I.5 Objetivos

I.5.1 Objetivo General

Adaptar un sistema transparente termoestable con óptimas propiedades de apariencia, a una ensambladora automotriz del mercado nacional, mediante la metodología seis sigma.

I.5.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de la ensambladora automotriz nacional con respecto al sistema transparente termocurable.

- Establecer las diferencias que existen entre la formulación del sistema transparente termoestable empleado en la ensambladora nacional y el sistema transparente termoestable en evaluación.

- Evaluar el sistema transparente termoestable propuesto de acuerdo a lo establecido en el Procedimiento de Evaluación de Producto (PEP).

- Comparar las propiedades químicas y mecánicas del sistema transparente termoestable empleado por la ensambladora nacional con las propiedades del sistema transparente termoestable en evaluación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen brevemente los antecedentes de la investigación y se introducen los conceptos básicos para el entendimiento del desarrollo de este trabajo, así mismo se presenta brevemente la metodología seis sigma la cual se basa en la mejora continua.

II.1 Antecedentes

Se presenta un breve resumen de las investigaciones y publicaciones realizadas anteriormente por diferentes autores, relacionadas con éste tipo de trabajo de investigación, que sirven como soporte y sustento, ya sea por su contenido teórico o por la metodología realizada.

Gonzalez Maria, (2010). **Estudio de las causas que generan la aparición de cráteres en los fondos del sistema original de pintura automotriz en el proceso de producción de la empresa Dupont Performance Coatings de Venezuela, C.A.** Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar las causas que estaban generando la aparición de cráteres en los fondos OEM, logró comprobar que una de las principales causas fue el empleo de un tanque en mal estado, seguido por las condiciones de los equipos empleados para la carga de materias primas del línea de productos en estudio, junto con la línea paralela de reacabados automotrices. En esta investigación se empleo la estrategia seis sigma, el cual fue el motivo por lo que se empleo esta investigación como antecedente.

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

El objetivo principal de esta investigación fue mejorar el proceso productivo del producto “Fondo Gris” de la empresa Dupont Performance Coatings de Venezuela C.A a fin de disminuir el uso de aditivos sin cargo al cliente General Motors de Venezuela (GMV), debido a los ajustes realizados al producto por problemas como la mala apariencia (concha de naranja), siguiendo la metodología Seis Sigma.

Entre los resultados más relevantes se diseñó un procedimiento para asegurar que el producto que va a ser enviado al cliente sólo dependa de las variables de operación y del desempeño del pintor. Es decir, que el producto se encuentre bajo las especificaciones de formulación, bajo esta propuesta

Se ha podido separar el componente “humano”, el componente “formulación” y el componente “condiciones de operación”, permitiendo identificar el causal y aplicar las correcciones necesarias en el momento adecuado.

Miguel Lecuna. (2007). **Desarrollo de un Sistema Transparente Termoestable a Ser Usado en el Mercado Automotriz, Mediante la Metodología Seis Sigma.** Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

Esta investigación tuvo como objetivo principal el desarrollo de un sistema transparente termoestable que no presente variación de tono a temperatura de $443 \pm 5K$, a ser usado en el mercado automotriz. Para el cumplimiento del mismo se llevo a cabo la aplicación de la metodología seis sigma. Logrando establecer que la formula del transparente del sistema en línea contenía resinas que no soportaban temperaturas superiores a $408 \pm 5 K$, generando un efecto de amarillamiento. Además, se logró proponer una nueva fórmula que contiene una resina que elimina el efecto de amarillamiento.

Amiuny, M. (2003). **Evaluación de la influencia de la tensión superficial en la formación de defectos de película.** Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

Estudió la influencia de la tensión superficial en la formación de cráteres en pinturas automotrices. El aditivo o mezcla de aditivos a ser suministrado al sistema, debe asegurar un buen desempeño como agentes anti-crater, sin afectar la apariencia del sistema. De manera que, se aplicó un diseño experimento, para obtener un condición óptima en la apariencia del sistema, evaluando el desempeño de los aditivos en el sistema transparente. En base a los estudios realizados, se desarrolló una prueba de resistencia al cráter, que permitió evaluar el desempeño anti-cráter de cinco aditivos. Los resultados obtenidos, al considerar la prueba señalada, muestran que el procedimiento propuesto es eficiente y práctico, al comparar las pruebas realizadas anteriormente con el método propuesto.

Murphy, K.D. (1994). **Determinación del impacto de antiespumantes en el proceso de elaboración de resinas de melamína, como causantes de cráteres en el transparente.**

Se determinó que cuando el antiespumante se encontraba a bajas concentraciones en el proceso de elaboración de la resina de melamína, éste

provocaba efectos negativos, causantes de la formación de cráteres en transparentes de altos sólidos. Mediante los resultados obtenidos de este estudio se logró modificar el proceso de manufactura de la melamína, obteniéndose considerables mejoras en el producto, al disminuir la presencia de cráteres. Esta información resulta valiosa puesto que, la melamína es un componente necesario en las pinturas automotrices y esta debe estar en condiciones óptimas por si sola, de forma que no afecta el producto final.

II.2 Fundamentos teóricos

En esta sección de la investigación se presentan las bases teóricas más importantes que sirvieron como guía para la elaboración del presente proyecto y que permitirán comprender y sustentar el presente trabajo de investigación.

II.2.1 Pintura

Es un líquido pigmentado que luego de ser aplicado a una superficie al evaporarse sus solventes, seca y endurece, conformando una película fina, sólida que tiene por función proteger, decorar y dar funcionalidad a diferentes superficies. Por lo que se utiliza en diferentes áreas tales como: industrias de envases para productos alimenticios, en la industria automotriz, en equipos electrodomésticos, en la construcción, en mantenimiento de instalaciones industriales y marina, etc. Dentro de las características que debe tener la pintura están: excelente adhesión sobre los sustratos, brillo, apariencia lisa y continua, resistencia a sustancias químicas y a la abrasión, entre otros.

Componentes de la pintura

En la figura II.1 se pueden apreciar los diversos elementos que componen las pinturas de reacabados industriales:

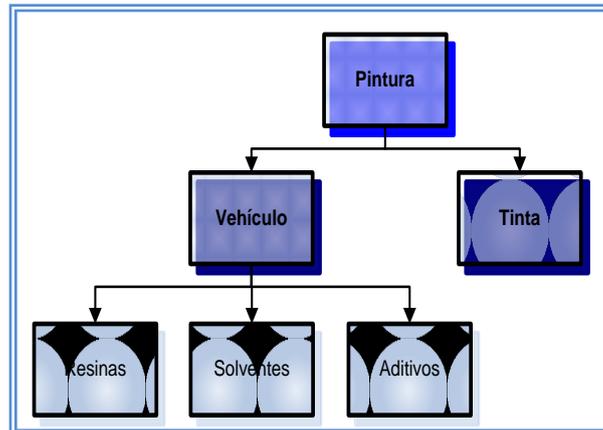


Figura II.1 Esquema representativo de la composición de la pintura de reacabados industriales.

Fuente: Propia

II.2.2 Pintura automotriz

La pintura automotriz es una mezcla mecánica o dispersión de pigmentos, siendo algunos de ellos opacados normalmente con un líquido, conocido como vehículo. Debe ser capaz, al ser aplicada adecuadamente, de adherirse al sustrato y formar el tipo de película deseada. Además, se puede decir, que son líquidos pigmentados, que luego de ser aplicados a una superficie, y evaporarse sus solventes, seca y endurece, conformando una película fina, sólida. Esta película tiene como función a parte del atractivo estético, de proteger las carrocerías de los automóviles del proceso de oxidación que los deteriora rápidamente.[10]

II.2.3 Sistema completo de la pintura automotriz

Se denomina sistema completo a aquel conformado por cristales de fosfato, recubrimiento por electro deposición, fondo, base color y transparente sobre un sustrato comúnmente de metal. A continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

II.2.3.1 Sustrato

Puede ser de aluminio o acero galvanizado, e incluso plástico debido a las últimas innovaciones en tecnología que demuestran que este último absorbe mejor el impacto, ofreciendo mayor seguridad a los ocupantes del automóvil.

II.2.3.2 Cristales de fosfatos

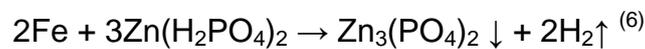
Es la primera capa del sistema de pintura automotriz y está formada por unos pequeños cristales de fosfato. El recubrimiento con fosfato implica la transformación de la superficie del metal base en una película protectora de fosfato mediante la exposición a soluciones de ciertas sales de fosfatos (por ejemplo, Zn, Mg y Ca) junto con ácido fosfórico diluido (H_3PO_4). El grosor del recubrimiento varía de 0,0001 a 0,002 pulg (0,0035 a 0,05mm). El recubrimiento funciona como una preparación útil para la pintura en la industria automotriz.

La preparación de los metales cumple al menos tres efectos supuestos: a) Limpieza, b) Incrementar el área de superficie para la abrasión física o el gravado químico, por lo tanto la eliminación a la adhesión de la interfase aumenta cuando son recubiertos, y c) desarrolla la composición de la superficie que es relativamente inerte químicamente al proceso natural de corrosión. ⁽¹⁰⁾

Los procesos y materiales empleados en la obtención del revestimiento fosfático tienen como objetivo la formación de hopeita $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ a través de las reacciones:



Pueden ser resumidas de la siguiente forma:



II.2.3.3 Electro deposición

El electrocoat o e-coat es la primera capa pigmentada, la cual es aplicada sobre la capa de fosfato. Este sirve como un puente entre el metal y las capas subsiguientes. Este recubrimiento es aplicado mediante aplicación de inmersión por electrodeposición catódica del cuerpo del automóvil.

Este es el primer revestimiento orgánico, cuya función primordial es asegurar la resistencia anticorrosiva del sustrato. La resistencia a la hidrólisis de un revestimiento por si solo no garantiza la resistencia contra la corrosión, aunque sea un factor de gran importancia, este revestimiento también debe atender otras exigencias, tales como:

- Facilidad de aplicación para altos volúmenes de producción.
- Acabado uniforme e inobjetable.
- Capacidad de revestir áreas de difícil acceso en piezas complejas.
- Procesabilidad con alta tasa de transferencia.

- Ser un sistema que no cause agresiones al medio ambiente.

El camino seguido mundialmente para la aplicación de este sistema, es mediante electroforesis catódica (electrodeposición). El proceso de aplicación es mediante la inmersión de la pieza en un baño compuesto, de forma general por:

- 17 a 21% de material sólido (pigmentos, cargas y resinas).
- 1 a 3% de solventes orgánicos.
- 76 a 86% de agua. [2]

II.2.3.4 Fondo

Es aplicado mediante spray sobre el e-coat antes de aplicar la capa de base color. La principal función es minimizar la rugosidad de la superficie y mejorar la adhesión de la base color. El espesor uniforme proporcionado por el e-coat hace que sea liso y brillante por lo que la adhesión de la capa de base sea muy difícil.

Es la capa siguiente al revestimiento catódico, establecida hoy como proceso preferencial, las principales funciones de esta capa son:

- Nivelar y preparar la superficie para capas siguientes.
- Optimizar una respuesta de sustratos a exigencias mecánicas, principalmente del ataque o golpes de las piedras.
- Proteger el revestimiento catódico, que presenta una excelente resistencia a la corrosión, porque limita la degradación por radiación electromagnética (luz especialmente en la región del ultravioleta (UV 290-380 nm)).⁽⁶⁾

Las propiedades más importantes de la capa de fondo líquida en la producción automovilística incluyen el flujo y el poder de cubrimiento del sustrato.

II.2.3.5 Base Color

Esta capa es la responsable de aportar el color y cubrimiento a la pieza automovilística. Es un sistema pigmentado (metalizado, perlado o sólido) que va sobre una superficie previamente revestida por el fondo. Generalmente es aplicada mediante el sistema conocido como *wet-on-wet* (húmedo sobre húmedo), luego de 2 a 3 minutos de su aplicación para la evaporación de los solventes se aplica el clear coat (transparente). [6]

II.2.3.6 Transparente

Constituye la última capa de pintura que provee protección para las siguientes capas en la superficie donde es aplicada, también confiere resistencia a los rayos ultravioleta. Esta capa de pintura tiene un alto contenido de sólidos, y es usada para dar brillo, apariencia y nivelación y para resaltar el color de la capa interior.

El sistema transparente, está compuesto de solventes, aditivos y resinas. Generalmente las resinas son de naturaleza acrílica termoestable y agentes reticulantes o melamínicas, normalmente diluidos con un solvente volátil, éste se encarga de proporcionar una buena apariencia a la película de pintura en la superficie del automóvil.

II.2.3.6.1 Resinas

Weinsmatel, 1981 indica que las primeras resinas conocidas por el hombre fueron extraídas de los árboles. La colofonia, extraída del pino. Las

resinas de arse y de eucalipto, que fueron empleadas en la fabricación de barnices para proteger cuadros, muebles y otras piezas. Muy famosas fueron las lacas químicas fabricadas con las resinas del árbol tung. Con el rápido desarrollo de la química orgánica a mediados del siglo XIX, comienza a aparecer una gran variedad de productos sintéticos, muchos de ellos derivados del petróleo y del alquitrán.

Las primeras resinas utilizadas para pinturas fueron sintetizadas a partir de aceites como el de ricino y soya; estas resinas secaban al aire y requerían mucho tiempo para la formación de una película estable. Al desarrollarse los aceites secantes se logró reducir sensiblemente el tiempo de curado y es así, cuando aparecen las pinturas en aceites.

Las resinas, en el campo de las pinturas, determinan el tipo de pintura a producir ya que contienen distintos mecanismos de curado; además, son responsables de la mayoría de las propiedades de la capa de pintura. Entre estas propiedades se encuentra la adhesión, brillo, dureza, resistencia al impacto, tiempo de secado, etc. Las propiedades que las resinas pueden conferir están determinadas por su peso molecular, la viscosidad y la estructura química de las mismas.

Dos tipos de resinas sintéticas más utilizadas en la elaboración de pinturas automotrices se muestran en la Tabla II.1.

Tabla II.1 Tipos de resinas más utilizadas en la industria de la pintura automotriz. (Fuente: Weinsmantel, 1981).

TIPO DE RESINAS	GENERALIDADES
Resinas Acrílicas	Son resinas termoestables, se obtienen a partir de la polimerización o copolimerización de ésteres acrílicos y metacrílicos. Pueden ser combinados con resina melamína, epóxica, alquídica, etc. para dar sistemas que curan hacia una nueva película con excelente resistencia al agua, ácidos, álcalis, químicos y otros agentes corrosivos.
Resinas Melamínicas	Las resinas melamína pueden ser usadas únicamente en cubrimientos de curado al horno, ya que ellas se convierten de una forma líquida a sólida con la influencia del calor. La melamína ofrece una película dura, difícilmente quebradiza, incolora, aporta brillo y estabilidad al calor, y tiene una excelente retención del color.

Las estructuras de las resinas descritas en la Tabla II.1 se muestran en Figura II.2 y II.3.

R=Metil, Butil o Isobutil. N=75-100

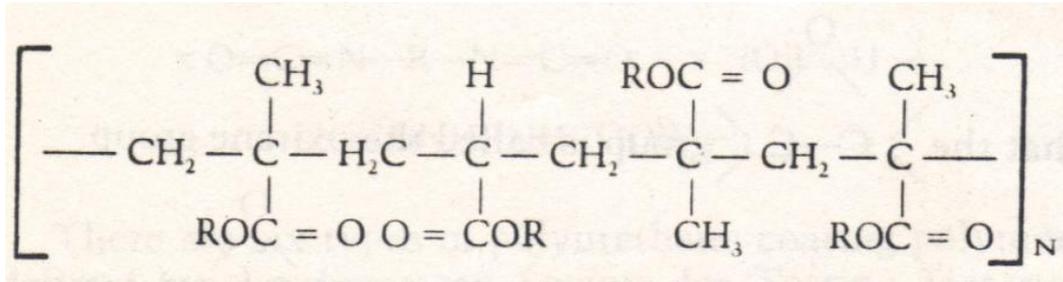


Figura II.2 Estructura de la resina acrílica.

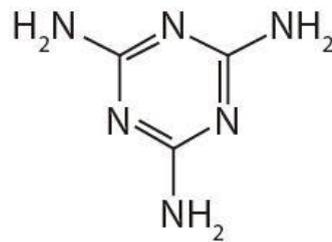


Figura II.3 Estructura de la resina melamínica.

Otro tipo de resina también utilizada en la producción del transparente es la resinas alquídica, la cual es un poliésteres que se obtienen por la condensación o esterificación de glicerina o glicol con ácidos di-o tricarboxílicos. Este tipo de resina da a la pintura una mediana resistencia a la humedad y al agrietamiento; así como una excelente apariencia. Ver Figura II.4

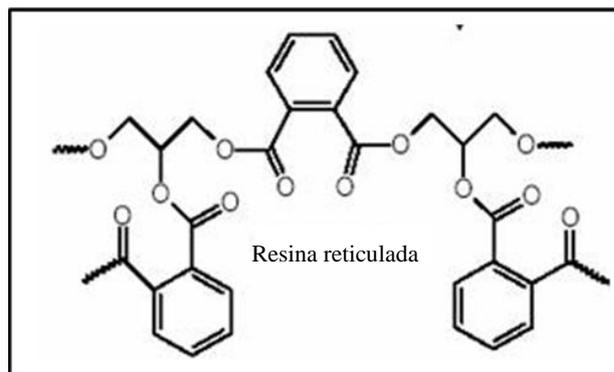


Figura II.4 Estructura de la resina alquídica.

II.2.3.6.2 Aditivos

Existen materiales que son adicionados a las pinturas para realzar las propiedades finales de éstas o asistir en su manufactura o aplicación. Aunque ellos son usados en pequeñas concentraciones (usualmente menos de 2%) son esenciales para el sistema de recubrimiento.

Por regla general, cada aditivo confiere un solo beneficio al recubrimiento, tal como mejoramiento de la calidad, rapidez en la producción, mejoramiento en el ciclo de vida, mejoramiento en el tiempo de secado, o generalmente proveer o prevenir la capacidad de recubrimiento.

Los aditivos más utilizados son:

- **Aditivos Antiescurrido:** determinan el comportamiento reológico de las pinturas, ya que esta describe la interrelación compleja entre la viscosidad y las fuerzas de cizallamiento.
- **Absorbedores ultravioleta:** Son agentes utilizados para absorber los rayos ultravioletas y evitar la degradación del color en la pintura. [9]
- **Aditivos Tensoactivos:** Son agentes que reducen la tensión superficial de la película evitando cráteres.
- **Aditivos Antipopping:** Se emplea para disminuir la posibilidad de la aparición de solvente atrapado en la película.
- **Agentes Nivelantes:** Ayudan a la reticulación de la resina, mejorando el nivelado de la película.

II.2.3.6.3 Solventes

Son definidos como líquidos volátiles de baja viscosidad usados en pinturas para mejorar las propiedades de la aplicación. La función de los solventes, principalmente, es disolver las capas que se forman durante la preparación de la pintura, al momento de adicionar diferentes tipos de resinas, pigmentos y aditivos, separando y manteniendo distanciadas las gotas que se forman en la capa de emulsión, además de reducir los sólidos y la viscosidad

de la solución o emulsión para mejorar las propiedades de aplicación. (Saint/Coatings Dictionary, 1978)(Diccionario de Química y de Productos químicos, 1985).

Los solventes permiten controlar la velocidad con la cual se cura la película externa de pintura aplicada sobre una pieza. Estos solventes pueden tener diferentes velocidades de evaporación, según sea su naturaleza química, como lo son: solventes de evaporación rápida, solventes de evaporación media y solvente de evaporación lenta. Esta velocidad con la cual se evaporan influye directamente en el secado de la película externa de pintura, es decir, si se emplea un solvente de evaporación lenta luego de la aplicación de la pintura sobre una pieza determinada, y no se le da un tiempo de secado acorde con las características del solvente, es probable encontrar problemas de solvente atrapado o “popping” en la superficie de la pintura aplicada, ya que la película externa secará antes que el solvente se evapore completamente.

Entre los principales tipos de solventes volátiles se encuentran:

- **Solventes Activos:** Este tipo de solventes tienden a disolver la capa base formada en la superficie. Un ejemplo de este tipo de solventes es el etil acetato, los esteres, glicoles y cetonas.

- **Solventes Latentes:** Este tipo, por sí mismo, no tienen la propiedad de disolver; sin embargo, en presencia de un solvente activo, el solvente latente se comporta como uno activo, lo que aumenta la tolerancia de la pintura al diluyente. En este grupo se encuentran los alcoholes, siendo un ejemplo de estos solventes el alcohol etílico.

- **Solventes Diluyentes:** Estos solventes pueden ser tolerados por el vehículo, luego de ser disuelto por uno activo o latente. Por lo general, son utilizados para controlar la viscosidad, y el secado, entre otros

parámetros. En este grupo se destacan los aromáticos, como por ejemplo, el hidrocarbonato de petróleo. (Jiménez – Gómez, 2003)

II.2.3.6.3.1 Solvencia y Solubilidad

La solvencia en los sistemas de cubrimiento tiene dos manifestaciones. La primera, es si la resina y el solvente son suficientemente compatibles como para dar un solución homogénea. La segunda, es que haya alcanzado la viscosidad en la solución. Una medida extensa comprobada de compatibilidad es la solubilidad.

Solubilidad

La solubilidad es una medida de las fuerzas de atracción entre las moléculas de una sustancia. Estas fuerzas son mayormente tres tipos: dispersivas, puentes de hidrogeno y dipolo. Antes de que una sustancia pueda mezclarse libremente con otra, estas fuerzas deben vencer. Esto es más fácil de alcanzar cuando las fuerzas intermoleculares de las sustancias que se mezclan son las mismas. En otras palabras, se podría tener la mejor solución cuando el parámetro solubilidad del solvente y del soluto es el mismo.

El parámetro solubilidad es la raíz cuadrada de la densidad de energía de cohesión, la cual es la atracción molecular total por unidad de volumen. La expresión matemática es:

$$\delta = \left(\frac{E}{V}\right)^{1/2} \quad \text{[Ec.1]}$$

Donde, δ es la solubilidad $(\text{Cal/mL})^{1/2}$

E es la energía de cohesión por mol

V es el volumen molecular

La energía de cohesión es igual a la energía de vaporización, la cual puede ser medida experimentalmente para el calor de vaporización si la sustancia es volátil $\Delta E = \Delta H - RT$ y ΔH es el calor de vaporización.

Un solvente tiene una solubilidad específica. Una resina tiene un rango de valores, el tamaño de la gama varía extensamente para resinas diferentes. Porque las resinas no son volátiles, sus calores de vaporización y solubilidad no pueden ser medidas directamente. Un método común para determinar la solubilidad de una resina es tratar de disolver la resina en varios solventes de solubilidades diferentes y registrar cuales se combinan formando soluciones y cuáles no.

Burrell fue el primer autor que estimuló el interés de aplicar el concepto solubilidad en los cubrimientos. El comprobó que los enlaces de hidrógeno son un factor adicional en la solubilidad que podría ser usado junto el parámetro de solubilidad para realizar predicciones. Burrell divide los materiales con enlaces de hidrógeno en tres categorías: débiles, moderadas y fuertes.

La atracción entre moléculas polares en los cuales el hidrógeno esta unido por un enlace covalente con un átomo altamente electronegativos (O, N, F) se conoce como puente de hidrógeno. Este tipo de atracción siempre involucra hidrógeno.

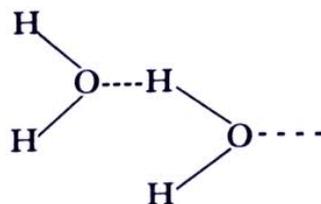


Figura II.5 Enlace de puente de hidrógeno.

Los puentes de hidrógeno son importantes porque ellos pueden afectar una variedad de propiedades químicas y físicas. La temperatura de ebullición y de fusión son sólo algunas de ellas. Los puentes de hidrógeno le proporcionan una alta temperatura de fusión a las poliamidas, celulosa e inusualmente una alta temperatura de ebullición a los alcoholes más pequeños. Grandes aumentos en solubilidad frecuentemente ocurren si los puentes de hidrógeno son posibles entre soluto y solvente. La capacidad o carencia de capacidad de una resina y un solvente en formar puentes de hidrogeno puede afectar su compatibilidad.

Reducción de Viscosidad

Como se añade la resina a un solvente, la viscosidad de la solución aumenta, período que ocurre en el punto de transición de la solubilidad de la resina y de la solvencia del solvente. El efecto de la solubilidad en la resina y de la solvencia del solvente se ve ilustrado en la Figura II.6. El aceite alquídico medio es menos soluble que el aceite ligero, el tolueno es un solvente más fuerte que el n-heptano. A bajas concentraciones de resinas la viscosidad del punto de transición, ocurren a viscosidades más altas, el solvente mas débil, n-heptano, y la menor solubilidad de la resina, el aceite alquídico medio. Las soluciones en tolueno son más fluidas porque este tiene la mayor solvencia. Las soluciones de aceite ligero son menos viscosas que las soluciones de aceite alquídico medios porque el primero es fácilmente soluble en ambos solventes.

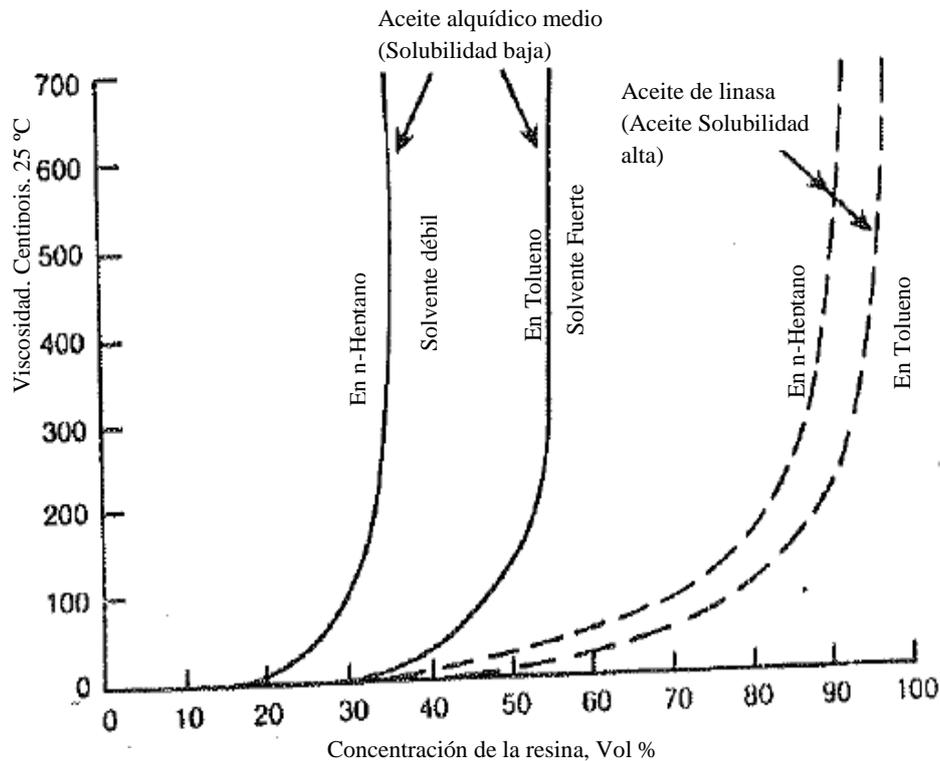


Figura II.6 Efecto de la solubilidad de la resina y del solvente en la viscosidad de la solución. (Fuente: Ellis. W, 1986).

En efecto, el solvente que mejor reduzca la viscosidad será el más adecuado para ser empleado en la resina. El razonamiento es el siguiente: la viscosidad de la solución de resina se rige generalmente por el arreglo molecular entre las moléculas de la resina. En presencia de un buen solvente, las moléculas de la resina se extienden totalmente sobre el solvente y las interacciones moleculares son fuertes, produciendo una alta viscosidad. Por otro lado, en presencia de un mal solvente, las moléculas de la resina permanecen enrolladas y las interacciones moleculares son débiles, produciendo baja viscosidad.

La influencia de la viscosidad del solvente se puede ver en la Figura II.7, las viscosidades de soluciones de aceites alquídicos medios en cuatro hidrocarburos puros, se trazan como una función de la concentración de

resina. A una baja concentración, alrededor del 8%, la viscosidad de la solución es proporcional a la viscosidad del solvente.

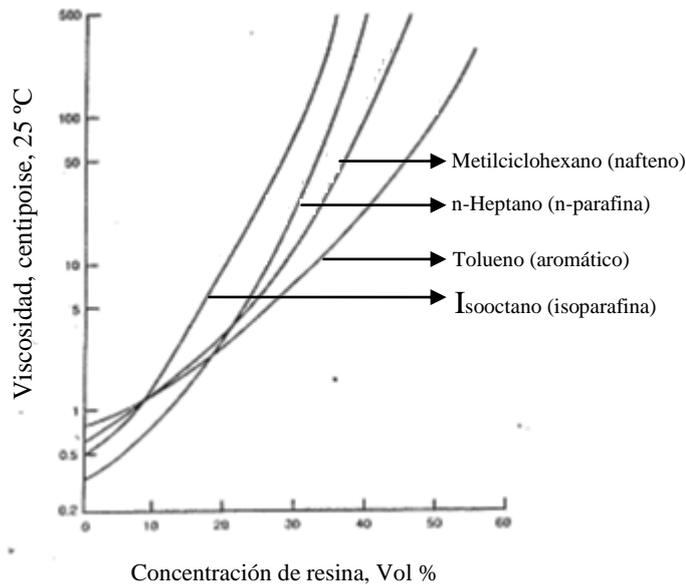


Figura II.7 Efecto del tipo de solvente sobre la viscosidad de la solución.
(Fuente: Ellis. W, 1986).

II.2.3.6.3.2 Tasa de evaporación

La volatilidad es un factor clave para la selección correcta del solvente. Así mismo, la observación de la tasa de evaporación durante el inicio del secado es tan importante como establecer la tasa de evaporación en los estados intermedios y finales, pues el solvente contribuye significativamente para la humectación de los sustratos.

La presión de vapor de cualquier solvente es la propiedad que mejor explica su volatilidad y es común que algunos formuladores aún relacionen la volatilidad con el punto de ebullición; esta creencia ha sido abandonada por no ofrecer seguridad al mismo.

Si se toma el acetal de isobutilo y n-butanol como ejemplos, ambos tienen el mismo (punto de ebullición 117°C), la tasa de evaporación del primero

es tres veces mayor que la del segundo. Podemos considerar, por tanto, que esta discrepancia sugiere la necesidad de criterios más exactos y precisos para caracterizar la tasa de evaporación.

La evaporación de los solventes se ve influenciada por las temperaturas del ambiente y del sustrato que choca con el calor de la película húmeda. De manera general, la tasa de evaporación aumenta con el aumento de la temperatura. El proceso de evaporación se da por el choque de calor de los solventes con el medio, lo que implica el enfriamiento del ambiente, incluyéndose el sustrato sobre el cual la tinta se aplica.

Los solventes de rápida evaporación provocan un enfriamiento más pronunciado, llevando la temperatura de la película húmeda y muchas veces la del sustrato a temperaturas inferiores al punto de rocío (condensación), lo que provoca la condensación de humedad en la superficie de la película.

La tasa de evaporación de una mezcla de solventes es dada por la sumatoria de las tasa de evaporación individuales. En que la concentración de cada solvente es el coeficiente de fugacidad de cada solvente en la mezcla. Admitiéndose que hay otras interacciones entre los demás componentes de la formulación y los solventes que componen la mezcla, se puede ver que el proceso de evaporación lleva a una variación que puede significar el enriquecimiento o empobrecimiento del poder de solvencia, lo que implica la necesidad de ajuste en la composición.

La rata a la cual una resina entra en una solución es por lo general de menor interés que la rata a la cual sale de la solución. Esta comienza a salir de la solución durante el proceso de evaporación del solvente. Durante este proceso la función del solvente es controlar tanto la fluidez como la formación de la película. Si la evaporación del solvente es demasiado rápida, la película no alcanzará un buen nivelado sobre el sustrato y por ende, no tendrá una

buena adhesión. Si la composición del solvente cambia durante la evaporación puede ocurrir la precipitación de la resina y la película podría no formarse íntegra. Es por ello, que la tasa de evaporación del solvente es el factor más importante en la calidad del cubrimiento.

Factores que afectan la evaporación

En vacío, la rata de evaporación de un solvente es proporcional a su presión de vapor a una temperatura dada. Cuando se involucran mezclas o cuando se introducen nuevos factores ambientales, la evaporación se hace más complicada. La presión de vapor de los diferentes compuestos no puede cambiar en la misma tasa con la temperatura; así, las ratas de evaporación relativas pueden variar con cambios de temperatura.

La humedad es un factor que influye sobre la evaporación si el solvente es miscible con agua. Las interacciones moleculares afectan la evaporación de los componentes de una mezcla, especialmente si uno de los componentes puede formar puentes de hidrógeno y otro no.

Evaporación de la solución

El factor más importante en la evaporación de un solvente es la adición de una resina como soluto. La evaporación del solvente en una solución de resina exhibe el comportamiento que se muestra en la Figura II.8, inicialmente, la tasa de evaporación es igual que la del solvente puro y está controlada por la volatilidad. En unos puntos del proceso, la evaporación se reduce bruscamente.

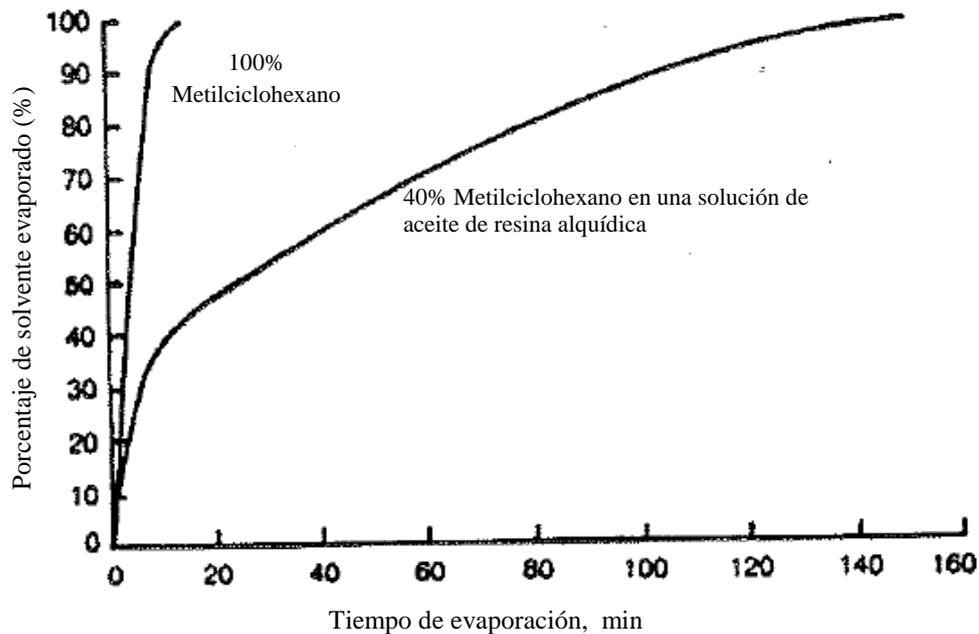


Figura II.8 Se muestra el retraso en la evaporación de un solvente en presencia de una resina. (Fuente: Ellis. W, 1986)

Hansen describió efectivamente las dos etapas de este fenómeno en el punto donde la volatilidad le da paso a la difusión como el límite del proceso de evaporación. [10]

Newman y Nunn indicaron que un solvente simple puede tener diversos coeficientes de difusión en diferentes polímeros, pero su clasificación relativa sería la misma. Ellos también reportan que la plasticidad de una resina aumenta la difusión del solvente y que una molécula de solvente difundirá más rápido a través de una resina que en sí mismo. ⁽¹⁰⁾

La difusión disminuye cuando está finalizando el proceso de evaporación, cantidades pequeñas de solvente son retenidas en la película por largos períodos de tiempo. Muchos investigadores han concluido que las resinas termo-plásticas, especialmente, pueden retener pequeñas cantidades de solvente por días e incluso algunos meses. Las soluciones acrílicas y vinílicas, después del proceso de secado, pueden retener del 5 al 15% de

solvente por muchas semanas. Esta retención depende del tipo de resina y solvente.

II.2.4 Defectos más comunes en las películas de pinturas que afectan su apariencia.

La apariencia del cubrimiento es muy importante en los transparentes automotrices, debido a que ésta es la última capa de pintura y tiene como finalidad darle belleza, brillo e intensidad al color. A continuación se describen algunos de los principales defectos que deben evitarse en los transparentes automotrices y que serán evaluados en los pilotos que se realicen durante esta investigación.

II.2.4.1 Piel de naranja

Esta se identifica como una irregularidad de la superficie pintada que tiene aspecto de cáscara de naranja. El defecto de poco nivelado de la película aparece en tintas aplicadas por pulverización. La piel de naranja puede producirse por viscosidad excesiva y también por la tensión superficial, a esa además contribuye tener una mezcla de solventes rápidos.

Las medidas a ser tomadas son la reducción de sólidos de aplicación, disminución del peso molecular de las resinas y disminución de la viscosidad. Si el defecto es consecuencia de la tensión superficial, las alternativas de corrección será el uso de aceites de silicona, sustitución de resinas de alta tensión superficial por resinas de menores valores; así mismo, la introducción de agentes tixotrópicos. Un solvente de baja tasa de evaporación puede ser una buena alternativa, ya que, ayuda al nivelado de la película.

II.2.4.2 Ecurrido

Los escurridos o coladuras ocurren por acción de la gravedad y pueden ser controlados por la reducción de la fluidez de la tinta. Así mismo, se pueden reducir por el aumento de la viscosidad medida a bajas tasas de cizalladura, también la aplicación de menores capas de tinta. La viscosidad se puede aumentar con la introducción de agentes tixotrópicos, especies alquídicas, espesantes, etc. La técnica de optar por solventes de rápida evaporación es efectiva en muchos casos. El escurrido se nota en los cubrimientos como una especie de cortina de diferente espesor al resto del mismo o como gotas sobre el mismo.

II.2.4.3 Solvente Atrapado

Es el resultado de la evaporación de los solventes más volátiles, mientras que los menos volátiles quedan encapsulados durante la operación de secado de la película. El solvente atrapado ocurre de forma bastante variada, pudiendo ser confundido con puntos. La observación al microscopio permite la diferenciación bastante segura y podrá ser eliminada con el aumento del tiempo de espera antes del horneado o lo que es más común, retardándose el curado de la tinta o sustituyendo los solventes de rápida evaporación por otros de menor tasa de evaporación.

II.2.5 Seis Sigma

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

cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos. La meta de SS, que le da el nombre; es lograr procesos con una calidad seis sigma, es decir, procesos que como máximo generen 3.4 defectos por millón de oportunidades.[10]

En otras palabras, SS es un contexto dentro del cual se podrán integrar muchas de las más valiosas, aunque frecuentemente inconexas, “mejores prácticas” y conceptos de gestión, incluyendo el pensamiento sistemático, la mejora continua, la gestión del conocimiento, la personalización y la gestión basada en actividades. [10]

La organización de SS se puede definir como “una organización que trabaja activamente para incorporar los principios y prácticas de SS a sus actividades diarias de gestión, y que muestra mejoras significativas en el rendimiento de sus procesos y en la satisfacción de sus clientes. [10]

Su aplicación requiere del uso intensivo de herramientas y metodologías estadísticas (en su mayoría) para reducir la variabilidad de los procesos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente. Esto contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad y tratar de corregir los defectos, una vez producidos.

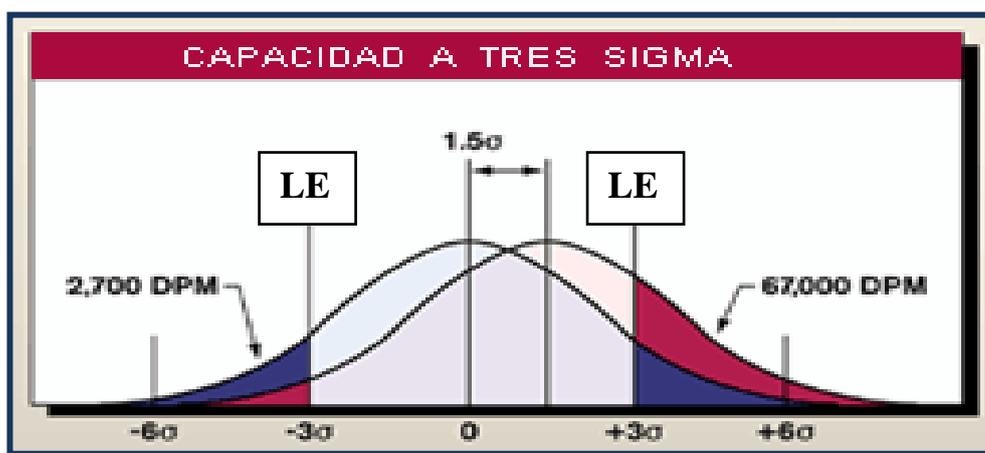


Figura II.9 Efecto de un corrimiento 1,5 sigma en procesos 3 Sigma. (Fuente: Gutierrez, 2004)

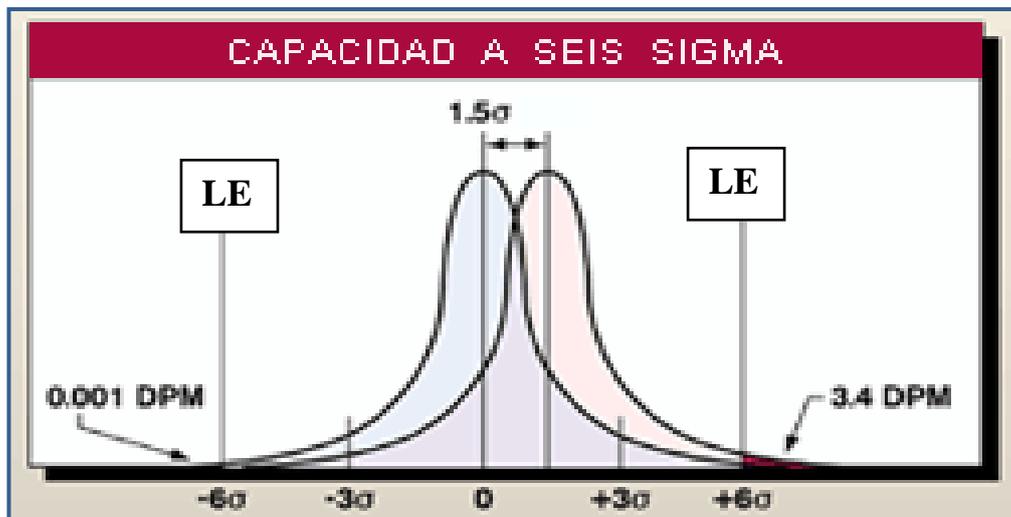


Figura II.10 Efecto de un corrimiento 1,5 sigma en procesos 6 Sigma. (Fuente: Gutierrez, 2004)

Este nivel de calidad se aproxima al ideal del cero-defectos y puede ser aplicado no solo a procesos industriales de manufactura, sino también en procesos transaccionales y comerciales de cualquier tipo, como por ejemplo: en servicios financieros, logísticos, mercantiles, tecnología, etc.

Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo del ciclo
- Reducir los defectos

Las mejoras en estas áreas representan importantes ahorros de costos, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa de excelencia. Se usa la medida en sigma para observar qué tan bien o mal operan los procesos, y darles a todos una manera común de expresar dicha medida. Un proceso con una curva de capacidad afinada para seis (6) sigma, es capaz de producir con un mínimo de hasta 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), lo que equivale a un nivel de calidad del 99.9997 %.

II.2.5.1 Ventajas de la Metodología Seis Sigma

El mapa ideal para establecer seis sigma y poner en marcha las mejoras, comprende cinco etapas, sugeridas como “competencias centrales” para una empresa prospera del siglo XXI:

1. Identificar los procesos claves y los clientes principales.
2. Definir las necesidades de los clientes.
3. Medir el rendimiento actual.
4. Dar prioridad, analizar e implantar las mejoras.
5. Extender e integrar el seis sigma.

Las ventajas de este mapa comprenden:

- Una comprensión más clara de la empresa como un sistema interconectado de procesos y clientes.
- Mejores decisiones y empleo de recursos para proporcionar la mayor cantidad posible de beneficios a partir de las mejoras de seis sigma.
- Tiempos de ciclo de mejoras más cortos, gracias a datos más realistas y una mejor selección de los proyectos.
- Validación más acertada de los beneficios de seis sigma, ya sea en dinero, defectos, satisfacción del cliente u otras medidas.
- Una infraestructura más fuerte que soporte el cambio y mantenga los resultados. [12]

Tabla II.2 Características más importantes de las etapas fundamentales de Seis Sigma. (Fuente: Campos, 2002)

FASE	PASOS				
Definir	Establecer claramente en qué problema se ha de trabajar.	¿Quién es el cliente?	¿Cómo se lleva a cabo el trabajo en la actualidad?	¿Cuáles son los beneficios de realizar una mejora?	
Medir	Selección del producto o proceso	Crear el diagrama del proceso	Definir las variables críticas	Calcular la capacidad del proceso	
Analizar	Escoger entre las variables críticas	Estudiar el resultado de las variables	Identificar los mejores resultados	Cuantificar el objetivo de mejora	Definir la herramienta a utilizar
Mejorar	Investigar las variables de entradas.	Confirmar el efecto de las variables de entrada	Establecer los límites de control.	Verificar los resultados.	
Controlar	Definir el sistema de control.	Validar el sistema de control.	Auditar el sistema de control.	Cálculo del resultado de mejora.	

II.2.7 Principios de Seis Sigma

La visión de organización seis sigma abarca los seis principios siguientes:

1. **Una perspectiva de autentica orientación al cliente**, respaldada por una actitud que pone en primer lugar las necesidades del cliente; también se apoya en los sistemas y estrategias que sirven para alcanzar el negocio a la “Voz del Cliente”.
2. **Gestión orientada a datos y a hechos**, con un sistema de medición eficaz que supervisa factores tanto de los resultados y salidas (Y) como el proceso, entradas y otros factores predictivos (X).
3. **Orientación a procesos, gestión por procesos y mejora de procesos**, como un motor para el crecimiento y el éxito. Los procesos seis sigma se documentan, comunican, miden y perfeccionan de manera continua. También

se diseñan o se rediseñan a intervalos, para mantenerse al día frente a las necesidades de la empresa y el cliente.

4. **Gestión proactiva**, que implica hábitos y prácticas que se anticipan a los problemas y a los cambios, se aplican a hechos y a datos y cuestionan los supuestos sobre objetivos y el “como se hacen las cosas”.

5. **Colaboración sin fronteras**, que implica la colaboración entre los grupos internos y los clientes, proveedores y asociados de la cadena de suministro.

6. **Búsqueda de la perfección, pero permitiendo errores**, lo que da al personal de la organización Seis Sigma la libertad de probar nuevos métodos, aunque conlleve riesgos, aprender de los errores, de esta manera, “elevar el listón” del rendimiento y de la satisfacción del cliente. [11]

II.2.8 Fases de Seis Sigma

En seis sigma los proyectos se desarrollan en forma rigurosa con la metodología de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar que a continuación se describen brevemente:

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

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

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

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

(C) Controlar para mantener la mejora: Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X's vitales) y se cierra el proyecto. [9]

II.2.9 Esquema para el Estudio de Variables

La metodología seis sigma propone un esquema para la realización de manera eficaz, sencilla y organizada del estudio para la resolución de un problema. Dentro de este esquema se pueden encontrar diversas herramientas que sirven de apoyo para la ejecución del mismo, estas son descritas a continuación.

II.2.10 Voz del cliente

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los enfoques principales de la calidad del sistema Seis Sigma, es la fortificación de la relación cliente – proveedor, en la cual se deben renovar continuamente las vías de comunicación, escuchando las exigencias del cliente y ofreciendo a su vez, una mayor calidad de servicio y atención. Para ello, se emplean algunas herramientas de visualización del problema, como lo es el esquema *Voz del Cliente*, el cual es un diagrama tipo árbol, en el cual se establecen las necesidades del cliente y los métodos propuestos por el proveedor, con el fin de cubrir dichas necesidades, estas medidas propuestas por el proveedor, son definidas como las Características Críticas de Calidad (CTQ's). Un ejemplo de este tipo de diagrama se da a continuación, tomando como referencia, una situación en donde el Cliente pide ser atendido correctamente. (Fig. II.11)

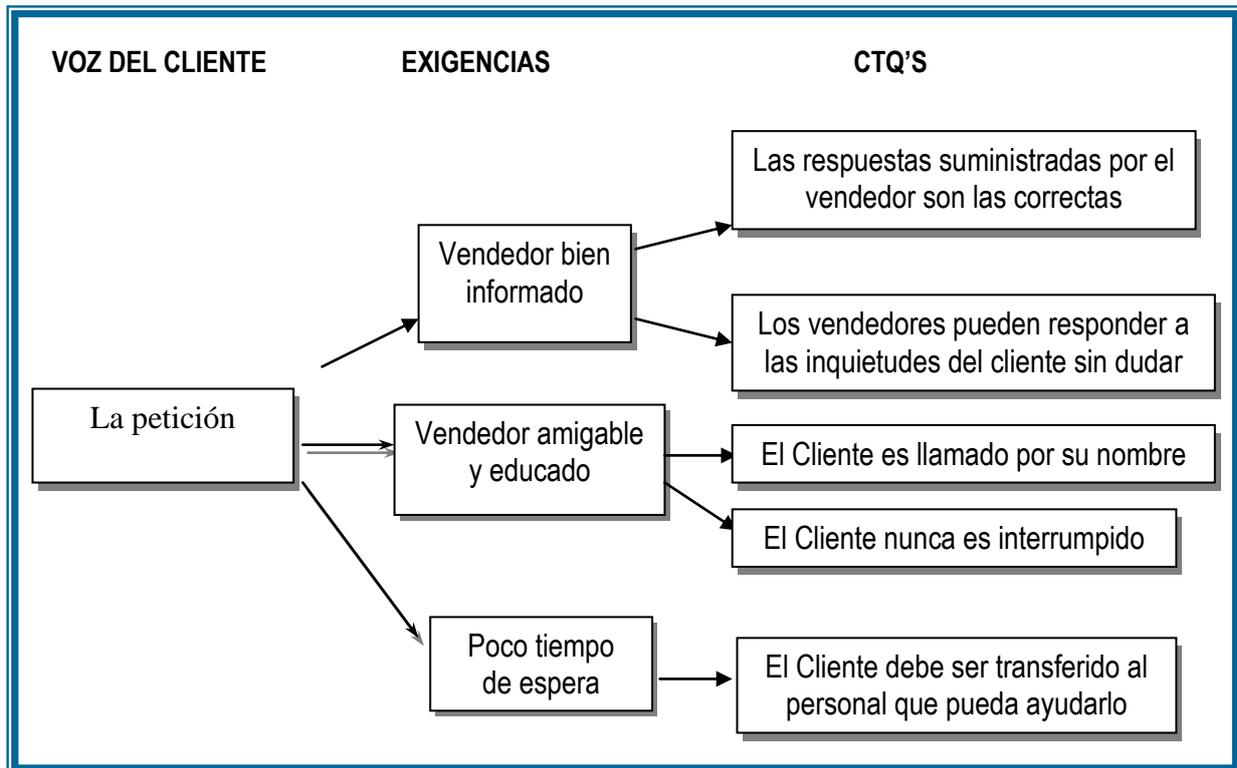


Figura II.11 Diagrama CTQ's para un proceso cualquiera. (Fuente: Gonzales, 2010)

II.2.11 Minitab

Es un software estadístico, que permite el estudio de un conjunto de variables y las posibles interacciones entre ellas, además, de ser muy útil para la creación de diseños de experimentos muy extensos. Permite optimizar los resultados y analizarlos de una manera fácil y efectiva.

Para este estudio se pretende emplear esta herramienta estadística, la cual proporciona una estructura rigurosa y universal para planificar, ejecutar y analizar experimentos, creados según los requerimientos del cliente, así como también, proporciona las vías necesarias para el estudio del problema, mediante gráficos de control que proporcionan un análisis estadístico del comportamiento de dicho problema. Para fines de esta investigación, sólo se tiene previsto emplear el software Minitab, para crear un diseño de experimento eficaz. [3]

II.2.12 Medidas Métricas de Seis Sigma

En la estrategia seis sigma se cuenta con diversas unidades para expresar las mediciones relacionadas a los defectos y la capacidad del proceso.

II.2.12.1 Medidas basadas en oportunidades

Existen varias formas de calcular y expresar medidas basadas en oportunidades de defecto:

Defectos por oportunidad o DPO: expresa la proporción de defectos sobre el número total de oportunidades de un grupo. Por ejemplo, si DPO es 0,05, significa que hay un 5 por ciento de posibilidades de tener un defecto en esta categoría.

Defectos por millón de oportunidades o DPMO: la mayoría de las medidas de oportunidades de defecto se traducen en el formato DPMO, que indica el número de defectos que podrían producirse si hubiera un millón de oportunidades. Específicamente, en los entornos de fabricación, DPMO suele llamarse PPM, “partes por millón”.

Medida sigma: la forma más fácil de obtener la cifra es traducir la medida de defectos (generalmente DPMO) utilizando una tabla de conversión. ⁽¹⁰⁾

II.2.12.2 Estadístico Z o Índice Z

Otra forma de calcular la capacidad de proceso es mediante el Índice Z, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media del proceso en unidades de la desviación estándar. De esta manera para un proceso con doble especificación se tiene un Z superior, y el Z inferior, definidos de la manera siguiente:

$$Z_s = (ES - \mu) / \sigma \quad (\text{Ecuación N}^\circ 3)$$

$$Z_i = (\mu - EI) / \sigma \quad (\text{Ecuación N}^\circ 4)$$

Donde,

μ : media

σ : desviación estándar

Z_s : Z superior

Z_i : Z inferior

EI: especificación inferior

ES: especificación superior.

Tomando en cuenta la forma que se estandariza una variable con distribución normal, el índice Z se distribuye normal con media 0 y desviación estándar 1. Por ello, mientras más grande sea el valor de Z mejor será la capacidad del proceso.

El índice Z es la métrica más utilizada en los programas seis sigma, ya que este mide el número de sigmas con el que se desempeña un proceso, siendo la meta que sean seis sigma. [10]

II.2.12.3 Índice de Capacidad Real C_{pk}

Evalúa la capacidad real de un proceso, tomando en cuenta las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso. Para calcularlo hay varias formas equivalentes; una de ellas consiste en calcular un índice de capacidad (C_p) para la especificación inferior, y otro para la superior, de la siguiente manera:

$$C_{pi} = (\mu - EI)/3\sigma \text{ y } C_{ps} = (ES - \mu)/3\sigma \quad (\text{Ecuación N}^\circ 5)$$

Donde,

C_{pi} : índice de capacidad para la especificación inferior.

C_{ps} : índice de capacidad para la especificación superior.

Estos índices si toman en cuenta la media del proceso y evalúan la capacidad para cumplir con la especificación inferior y superior, respectivamente. La distancia de la media del proceso a una de las especificaciones representa la variación tomada para el proceso de un solo lado de la media. Por eso se divide entre 3σ , en lugar de 6σ .

El índice C_{pk} está definido por:

$$C_{pk} = \text{al valor más pequeño de entre } C_{pi} \text{ y } C_{ps} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 6)$$

Es decir, el índice C_{pk} es igual al índice unilateral más malo, por lo que si el valor del C_{pk} es satisfactorio, eso indicará que en realidad el proceso es capaz. Si no es satisfactorio, no cumple con por lo menos una de las especificaciones. Algunos de los elementos adicionales a considerar para la interpretación del índice C_{pk} son los siguientes:

- El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual a que el índice C_p . Cuando sean muy próximos, eso indicará que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones.
- Si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , nos indicará que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones.
- Cuando los valores de C_{pk} sean mayores a 1.25 o 1.45 se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria.
- Valores de C_{pk} igual a cero o negativos, indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones. [10].

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta las estrategias propuestas para lograr el cumplimiento de todos y cada uno de los objetivos de esta investigación.

III.1 Tipo de investigación

De acuerdo al problema planteado referido a la adaptación de un sistema transparente termoestable con óptimas propiedades de apariencia a una ensambladora automotriz del mercado nacional, se define el tipo de investigación como *evaluativa*, ya que según L.Ruthman, *es ante todo, el proceso de aplicar procedimientos científicos para acumular evidencia válida y fiable sobre la manera y grado en que un conjunto de actividades específicas produce resultados o efectos concretos.*

III.2 Diseño de la investigación

La investigación se orienta hacia la incorporación de un diseño de *campo*. Por cuanto, este diseño de investigación permite no solo observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad de objeto de estudio, en su ambiente cotidiano, para posteriormente analizar e interpretar los resultados obtenidos.

El estudio planteado se adecua a los propósitos de la investigación no experimental evaluativo, donde *se observan los hechos estudiados tal como se manifiestan en su ambiente natural, y en este sentido no se manipulan de manera intencional las variables.* [13]

III.3 Actividades a desarrollar para el cumplimiento de los objetivos planteados.

A continuación se presenta cada uno de los objetivos planteados en esta investigación, seguido de las actividades realizadas para su cumplimiento.

Diagnosticar la situación actual de la ensambladora automotriz nacional con respecto al sistema transparente termocurable

1. Se solicitó al químico de desarrollo la data de producción del transparente empleado por la ensambladora automotriz nacional desde Enero 2009 hasta Abril 2010.
2. Las variables críticas que se identificaron del sistema transparente termocurable empleado actualmente por la ensambladora era debido a que éstas caían en el rango más bajo de las especificaciones del cliente.
3. La data se tabuló y se procesó en el software Minitab 15, obteniéndose el nivel sigma del producto con respecto al brillo ángulo 20, nivelado vertical y nivelado horizontal, las cuales son las propiedades más críticas que poseía el sistema transparente termocurable empleado actualmente por la ensambladora.

Establecer las diferencias que existen entre la formulación del sistema transparente empleado en la ensambladora nacional y el transparente propuesto.

1. Se solicitó la fórmula de cada sistema transparente al químico de desarrollo.
2. Se realizó una revisión bibliográfica de cada una de las materias primas que componen a cada transparente, estudiándose primero los solventes y luego las resinas.
3. Se realizó una comparación de las resinas presentes en cada transparente y los atributos que ofrece cada una.

Evaluar el sistema transparente propuesto de acuerdo a lo establecido en el Procedimiento de Evaluación de Producto (PEP).

Cabe destacar que para este objetivo, se dividieron las pruebas en dos fases, en estado sólido y en estado líquido.

Estado líquido

1. Se prepararon pilotos del sistema transparente termocurable en evaluación.
2. Se realizaron las pruebas que se muestran en la Tabla III.1, las mediciones se realizaron por triplicado.
3. Se tabularon los resultados y se determinó la media y la desviación estándar.

Tabla III.1 Pruebas realizadas en estado líquido.

Prueba	Principio	Materiales	Procedimiento
% Sólidos	Determinar el contenido porcentual de sólidos en una muestra.	Tinas metálicas Balanza Analítica Horno a 105°C	Tomar un gramo de la muestra, colocarla en una tinita metálica previamente pesada e introducirla al horno a 105°C por una hora, sacar, dejar enfriar y pesar.
Peso/ Galón	Determinar el peso en kilo de un volumen de pintura.	Picnómetro metálico Balanza analítica	Pesar el picnómetro vacío, anotarlo, colocar la pintura en el picnómetro y pesarlo nuevamente.
Estabilidad A largo plazo	Determinar la capacidad de la pintura de sedimentación.	Octavo	Colocar en un octavo la muestra, medir la viscosidad, sellar bien la tapa y dejar por 90 días a 25-27°C, transcurrido el tiempo observar si hay precipitado y medir la viscosidad de nuevo
Resistividad	Determinar la resistividad de la pintura.	Conductímetro Bridge	Colocar la muestra en un ¼ de galón, verificar la temperatura de la muestra (25°C) Introducir la celda en la muestra hasta que cubra 3/4 partes de la misma y hacer click en medir para realizar la medición

Estado sólido

1. Se aplicó el sistema completo automotriz en láminas de acero para las pruebas de resistencia química empleando una base color plateada ya que a través de ésta se facilita la observación del ataque químico en la película.
2. Para las pruebas de nivelado vertical y horizontal se emplearon dos bases color, una poseía aluminios en su formulación y la otra perlas, de manera de evaluar el transparente en dos sistemas diferentes.
3. Las pruebas realizadas se muestran en la Tabla III.2. Las mediciones realizadas en cada prueba fueron por triplicado

Tabla III.2 Pruebas realizadas al sistema transparente en evaluación en estado sólido.

Prueba	Principio	Materiales	Procedimiento
Nivelado vertical	Determinar el nivelado que proporciona la pintura.	Láminas de aluminio Horno Wave-Scan	Aplicar el panel con la pintura a evaluar, dejar curar la película y con el wave-scan determinar CF.
Nivelado horizontal	Evaluar la resistencia de una película al desprendimiento debido a los golpes producidos por piedras.	Lámina de acero Gravelómetro Microscopio	Preparar el panel con la pintura a evaluar, dejar envejecer por 24 horas y colocarla en el gravelometro, observar el daño producido por las piedras.
Resistencia a ácidos	Determinar la capacidad de un sistema de mantener sus propiedades al ser atacado en el campo.	Láminas de hierro H ₂ SO ₄ a pH 3 y 4 Horno	Colocar 5 gotas de cada ácido en tres láminas, y dejar en el horno por 10, 20 y 30 minutos, luego evaluar.
Resistencia al Xileno	Determinar la capacidad de un acabado a mantener sus propiedades en presencia de xileno.	Panel a evaluar Sontara Medidor de brillo.	Medir el brillo, luego empapar la sontara con el solvente y frotar 10 veces el panel luego volver a medir brillo.
Resistencia al agua y jabón	Someter una lámina a la influencia del agua y jabón por un tiempo y temperatura.	Lámina de acero Agua Jabón líquido Horno a 70°C	Aplicar todo el sistema automotriz a evaluar, envejecer durante 24 horas. Realizar una mezcla de agua y jabón colocarla sobre la lámina e introducir en el horno por 4 horas.

Tabla III.3 Continuación de las pruebas realizadas en estado sólido.

Inmersión al agua	Determinar la resistencia del sistema a mantener sus propiedades en presencia de agua.	Equipo de inmersión al agua Laminas de acero	Aplicar el panel e introducir en el equipo con agua destilada por un periodo de 240 horas a una temperatura de 39 °C, al finalizar el tiempo sacar y secar las laminas, evaluar el brillo y la adhesión.
Escurrido	Determinar el nivel de escurrido en transparentes automotrices a diferentes espesores de la película seca.	Paneles planos con agujeros. Medidor de espesor Horno	Consiste en la aplicación de una película con un gradiente de espesor sobre un plano que tiene orificios y línea de carácter simulando zonas críticas.
Solvente Atrapado	Se aplica un espesor de película sobre una lamina y se observa el nivel al cual se observa la presencia de solvente atrapado.	Panel metálico Tirro Horno Medidor de espesores	Dividir el panel en sección y aplicar dejando entre mano y mano una sección sin aplicar. Observar el solvente atrapado y medir.
Brillo	Determinar el grado de brillo reflejado en películas de pinturas.	Panel a evaluar Medidor de brillo	Encienda el equipo y asigne el ángulo al cual desea evaluar, luego coloque el panel en el soporte y llévelo hasta el lente.
Flexibilidad	Medir cuantitativamente la flexibilidad de sistemas automotrices.	Panel a evaluar Mandril cónico Regla con Escala cuadrada,	Colocar el panel en el mandril cónico, relaizar el dobles manteniendo una fuerza uniforme durante todo el recorrido y a una duración de 15 a 17 segundos.

El escurrido fue la única propiedad del sistema termocurable que se encontró fuera de las especificaciones del cliente. Por lo que se realizó una prueba de reproducibilidad y repetitividad, la cual es una herramienta que proporciona la metodología seis sigma, empleando el método corto.

Para llevar a cabo la prueba Repetitividad & Reproducibilidad se prepararon 20 pilotos de sistema transparente termocurable y se escogieron dos operadores.

A cada operador se les entregó 10 pilotos para que realizaran la prueba, posteriormente con la ayuda del software Excel 2007, se realizó el análisis de los datos obtenidos.

Comparar las propiedades químicas y mecánicas del sistema transparente termoestable empleado por la ensambladora nacional con las propiedades del sistema transparente termoestable propuesto.

Evaluación de las propiedades químicas.

1. Se solicitó a producción un galón del sistema transparente termocurable empleado actualmente por la ensambladora.
2. Se realizaron las pruebas descritas en la Tabla III.2 y III.3, que corresponden con las propiedades químicas.
3. Para el sistema transparente termocurable en evaluación se emplearon los resultados obtenidos en el tercer objetivo.

Evaluación de las propiedades mecánicas.

Las pruebas que abarcan las propiedades mecánicas de cualquier sistema de pintura son: el brillo, adhesión, flexibilidad y dureza lápiz.

4. Se recolectaron láminas de acero con e-coat, se limpiaron y se aplicó el sistema completo automotriz.
5. Se realizó la comparación de acuerdo a los resultados obtenidos de cada sistema transparente termocurable. Obteniéndose cuál de ellos se desempeñaba mejor.

Medición del nivel sigma de las propiedades de apariencia del sistema transparente termocurable propuesto.

1. Se prepararon 20 pilotos de 500 gramos cada uno, del sistema transparente termocurable en evaluación.
2. Se aplicó un fondo empleado por la ensambladora nacional en 20 láminas de aluminio.
3. Se lijaron las láminas fondeadas y se les colocó un tirro de forma vertical de manera tal que se pudiese conocer los espesores de la base color y el sistema transparente termocurable. Ya que estos deben ser muy parecidos para todas las laminas.

4. Los espesores que se emplearon para la evaluación fue de una milésima de pulgada (mils) para la base color y 1,5 mils para el sistema transparente termocurable.
5. Se empleo un plateado galáctico para la determinación del nivel sigma.
6. Se aplicaron las láminas y se hornearon por 20 minutos a 135°C.
7. Se empleó el equipo Wave-Scan para la determinación del nivelado tanto vertical como horizontal y el brillo (ángulo 20°).

III.4 Análisis Estadísticos de los Datos

En la presente investigación, relativa a la evaluación de un sistema transparente termocurable, se presentan métodos estadísticos, derivados de la Estadística Descriptiva, que se incorporaron para cada variable estudiada, contenidas en el conjunto de datos, según su nivel de medición.

Es importante señalar que para facilitar el análisis de los datos, en lo relativo a la introducción de técnicas estadísticas, se utilizó el paquete estadístico proporcionado en MINITAB 15. Este dio una visión clara de la interpretación de los resultados, ya que abarca todos los aspectos necesarios para el aprendizaje y aplicación de la estadística en general.

III.4.1 Gráfica de Probabilidades

Es un procedimiento que permitió determinar en forma visual los datos muestrales se ajustaban a una distribución específica. La gráfica de probabilidad es del tipo X-Y cuyas escalas son determinadas en función de la distribución elegida.

Este tipo de gráfico se usó en la investigación para determinar cómo fue la distribución de los datos continuos obtenidos para las diversas variables analizadas. Y así, al obtener el valor de probabilidad “P” o significancia calculada, a un nivel de confianza del 95%.

III.4.2 Histogramas de Frecuencia.

Es un gráfico utilizado para representar visualmente la frecuencia, distribución y “tendencia central” de una población. Este gráfico fue empleado para mostrar el análisis de la capacidad del proceso, con este también se obtuvo el nivel sigma inicial, ya que permitió representar la variabilidad del proceso.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados, señalados en el capítulo I. Además se realiza el análisis y la interpretación de los datos recolectados para el estudio de las propiedades del sistema termocurable propuesto.

Fase I. Definir (Seis Sigma)

Diagnosticar la situación actual de la ensambladora automotriz nacional con respecto al sistema transparente termocurable.

IV. 1 Inspección del sistema transparente termocurable empleado actualmente por la ensambladora.

En esta fase se definió las necesidades del cliente con respecto al sistema transparente, para ello se empleó la herramienta brindada por seis sigma de voz al cliente.

IV.1.1 Voz del Cliente.

De acuerdo con la metodología planteada se diseñó un diagrama de árbol donde se señala la voz del cliente. En este se manifestó que el sistema transparente termocurable debe presentar buena apariencia al momento de ser aplicado. También se reflejaron las exigencias claves y las características críticas de calidad (las X's) que de éstas se derivan.

La exigencia del cliente se muestra en la Figura IV.1, el sistema transparente termocurable debe ser capaz de ofrecer una película con buena apariencia, la característica de calidad CTQ (acrónimo inglés de Characteristic to Quality) para abordar esta exigencia es que los valores de brillo y del nivelado tanto vertical como horizontal se encuentren dentro de las especificaciones del cliente y que además posea un excelente desempeño.

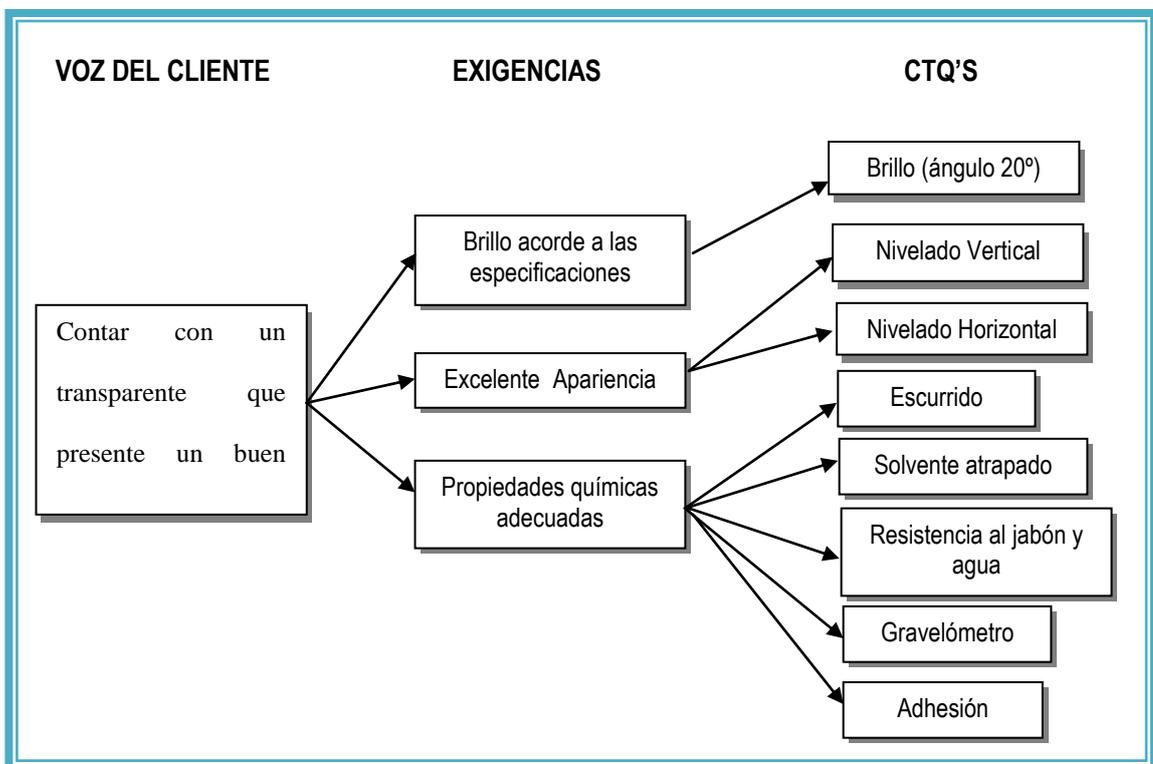


Figura IV. 1 Diagrama de Árbol de la voz del cliente.

IV.2 Medición del nivel sigma de las propiedades del sistema termocurable empleado por la ensambladora.

Para poder realizar la adaptación del sistema termocurable propuesto es necesario primeramente diagnosticar la situación actual de la empresa con respecto al sistema transparente termocurable empleado actualmente

(F). Esto se refiere al nivel sigma que posee el producto con respecto a determinadas especificaciones.

En primer lugar se tomó en cuenta los datos obtenidos de las propiedades que cumplían con los valores más bajos de calidad (ver Tabla IV.1) los cuales son el brillo ángulo 20, el QMS vertical y horizontal. Dichas características son las más importantes que debe poseer un sistema transparente termocurable.

IV.2.1 Nivel sigma del Nivelado vertical

Se comprobó la normalidad de la data del nivelado vertical mediante la prueba de normalidad de Anderson-Darling obteniéndose un valor del factor P (probabilidad) de 0,109. Este valor resultó ser mayor que el nivel de significancia, el cual es 0,05 lo que indicó que los datos se ajustaron a una distribución normal. Además, en la gráfica de probabilidad mostrada en la Figura N° IV.2 se observa la distribución de los datos (puntos) alrededor de la línea recta de frecuencia acumulada.

Tabla IV. 2 Data recolectada del sistema transparente termocurable F. (Fuente DPC 2010).

Brillo ángulo 20°	QMS Horizontal	QMS Vertical
92,31	60,8	51,9
90,8	64,1	52,8
91	62	50,9
92,7	66,5	51,1
92,6	69,7	53
90,3	62,1	51,9
91,1	62	52,75
93	61,9	51,4
92,4	63,4	53,6
96,4	60,93	51,9
91,7	60,9	54,6
90,2	62,5	55,1
91,3	66,4	50,6
91,1	63,7	50,7
91,8	63,3	52,7
90,6	69,5	55,4
90,4	71,8	53,4
92,9	64,2	53,6
90,4	63,4	54
91,1	61,7	51,12
96,4	61	52
92,8	63,8	51,9
93,7	64,7	51
91,2	61,2	50,4
90,2	64,8	52,1
94,2	62,1	51,2
90,4	61,2	55,9

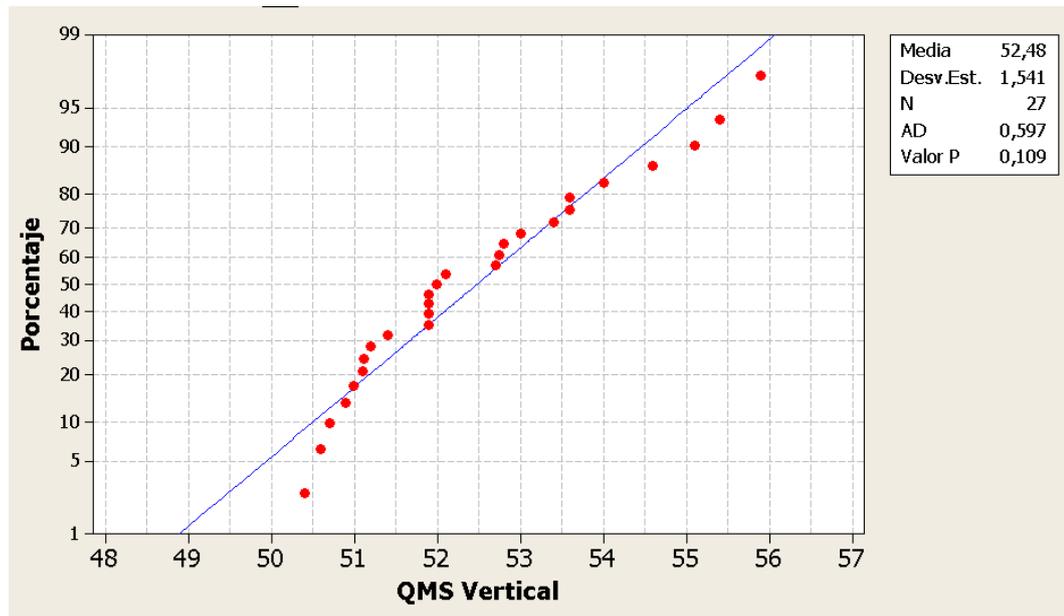


Figura IV. 2 Gráfica de probabilidad del nivelado vertical

Con los datos normales se obtuvo la capacidad de proceso y con este el nivel sigma que posee el producto, como se muestra en la Figura IV.3, el valor estadístico Z (nivel sigma) para la propiedad en estudio fue de 1,61. Este valor indicó que el sistema transparente termocurable F se encuentra alejado del nivel seis sigma.

La capacidad actual o capacidad real del proceso se pudo conocer con el índice C_{pk} el cual fue de 0,61. Este valor indica que este sistema transparente termocurable se encuentra fuera de las especificaciones.

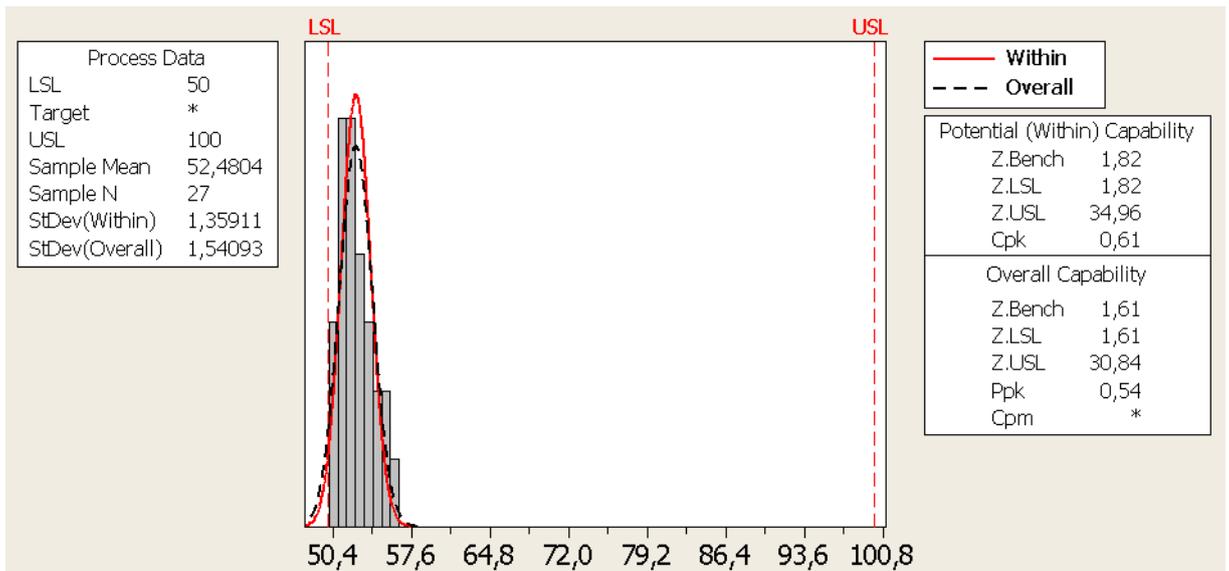


Figura IV. 3 Histograma de la capacidad de proceso del nivelado Vertical. (Fuente: DPC-Propia)

Otra medida aportada por el software Minitab 15, fue el ppm (partes por millón de defectos), siendo este valor 34000,89 ppm. Este representa el número de oportunidades en las que se presentaron desviaciones en el nivelado QMS vertical en el producto. Dicho de otra manera, esta situación equivalió a que por cada millón de oportunidades en las que se elaboraron lotes de sistema transparente termocurable en evaluación, se presentaron 34000,89 desviaciones (mal nivelado) en el producto.

IV.2.2 Nivel sigma del nivelado horizontal

Se empleo la prueba de normalidad de Anderson-Darling para la data de nivelado Horizontal, arrojando como resultado un valor del factor P de 0,005. Este valor resulta mucho menor que al valor de significación anteriormente descrito, y la distribución de la data no corresponde con la línea recta, como se puede observar en la Figura IV.4.

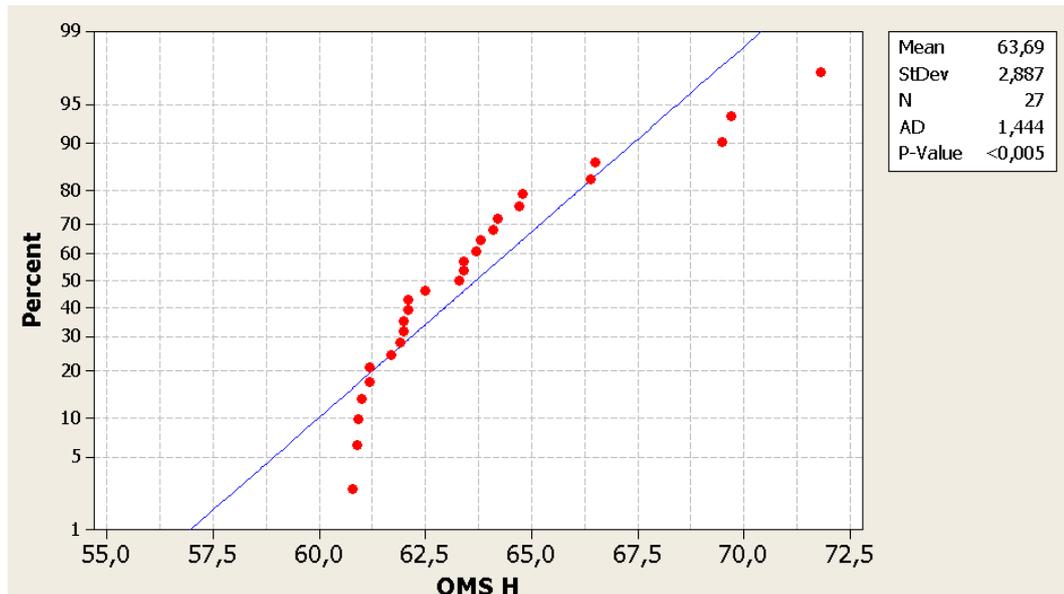


Figura IV. 4 Gráfica de probabilidad del nivelado Horizontal

Debido a que los datos no eran normales se realizó un análisis de distribución individual para poder conocer a través de cual modelo de distribución se debía realizar el análisis de capacidad, esto se determinó mediante el valor del factor P, como se muestra en la Figura IV.5

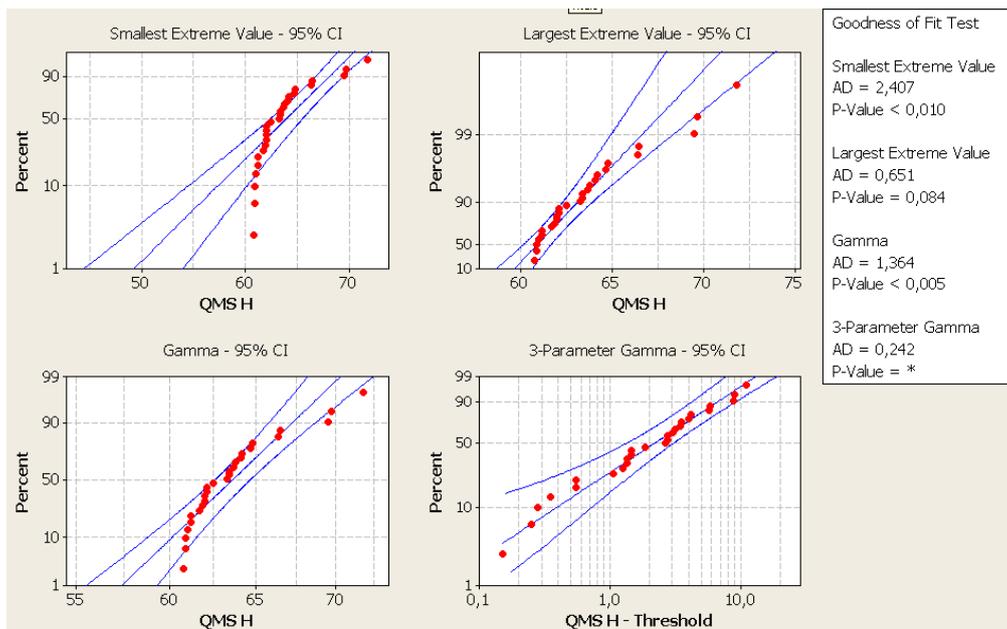


Figura IV. 5 Gráficas de análisis de distribución individual

El modelo que proporciona un valor del factor P mayor a 0,05 es el del valor extremo más grande, por lo que dicho modelo de distribución fue el empleado para realizar el análisis de capacidad de proceso y se obtuvo el valor del nivel sigma el cual fue de 2,03. Este valor indica que el sistema transparente termocurable proporciona un mejor nivelado aplicándose de manera horizontal, que relativo a la aplicación vertical, también se determinó el ppm (partes por millón) el cual fue de 21321,47 PPM, como se muestra en la Figura IV.6.

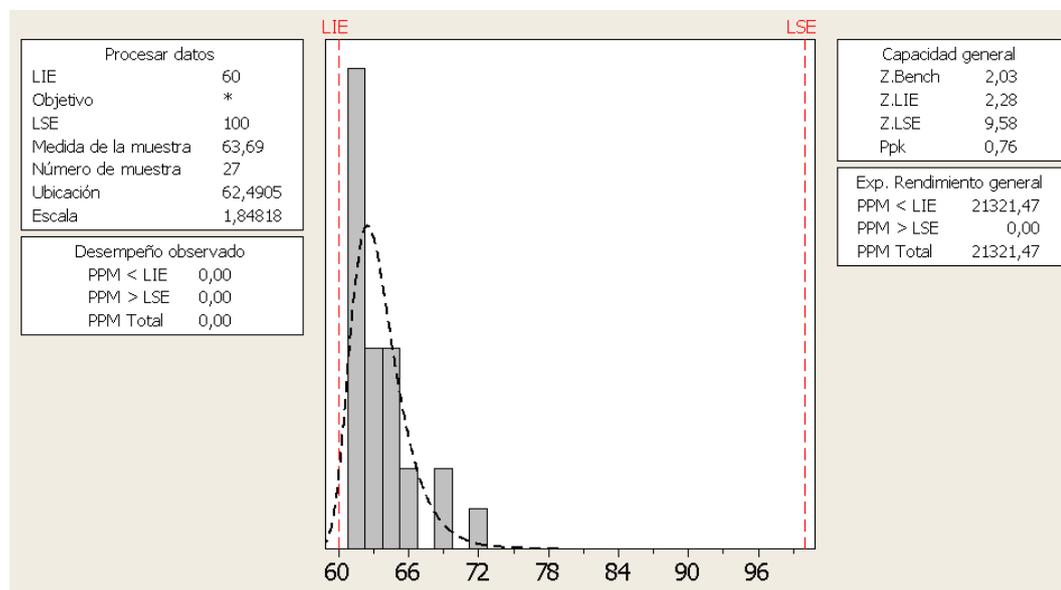


Figura IV. 6 Histograma de la capacidad de proceso del nivelado Horizontal

IV.2.3 Nivel sigma del Brillo

Se realizó el análisis de la data del brillo ángulo 20. Donde se obtuvo que dicha data no era normal, por lo que se volvió a realizar un análisis de la distribución individual. Para poder determinar el modelo para el análisis de capacidad de proceso. Obteniéndose que el modelo del valor más extremo es el que presenta un mayor valor del factor P (0,125). Como se muestra en la Figura IV.7 la distribución de la data se logra ajustar a la línea recta azul.

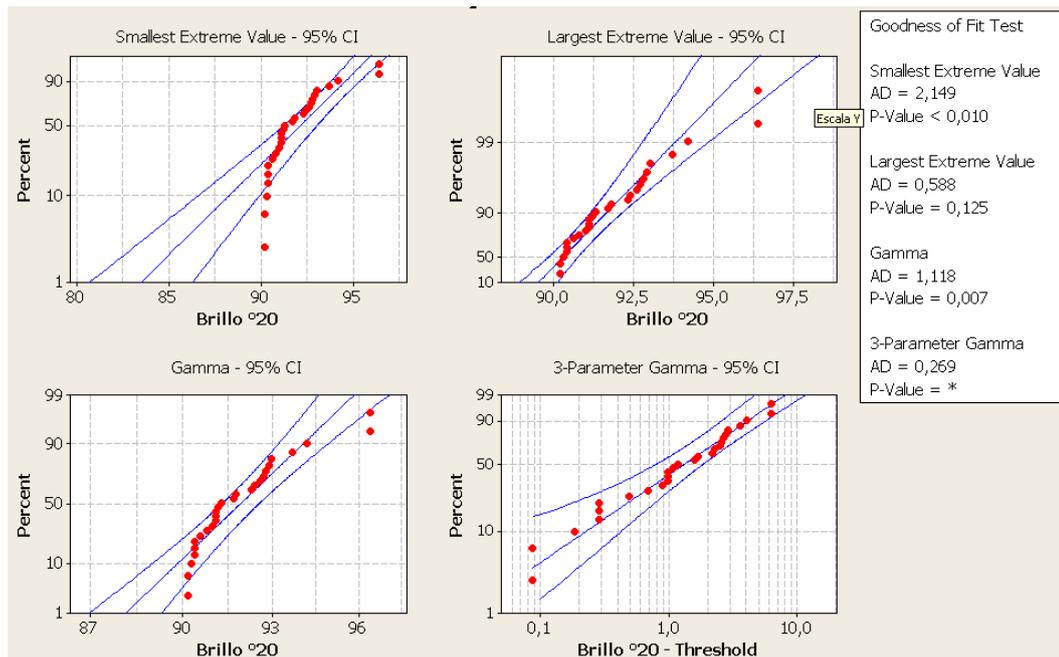


Figura IV. 7 Graficas del análisis de distribución individual del brillo ángulo 20. (Fuente: DPC-propia 2010).

Una vez determinado el modelo se realizó el análisis de capacidad de proceso, Figura IV.8 donde se observa que el valor estadístico Z es de 1,64. Este valor se encuentra bajo con respecto al nivel seis sigma.

Además, se puede observar en el histograma que se pueden producir lotes que se encuentren fuera de las especificaciones. Esto también se observa por el ppm obtenido que es de 50374,60 ppm.

Al compararse este valor de ppm con los obtenidos de las propiedades anteriores se puede decir que el brillo ángulo 20 es una de las propiedades más deficientes que posee el sistema transparente termocurable F.

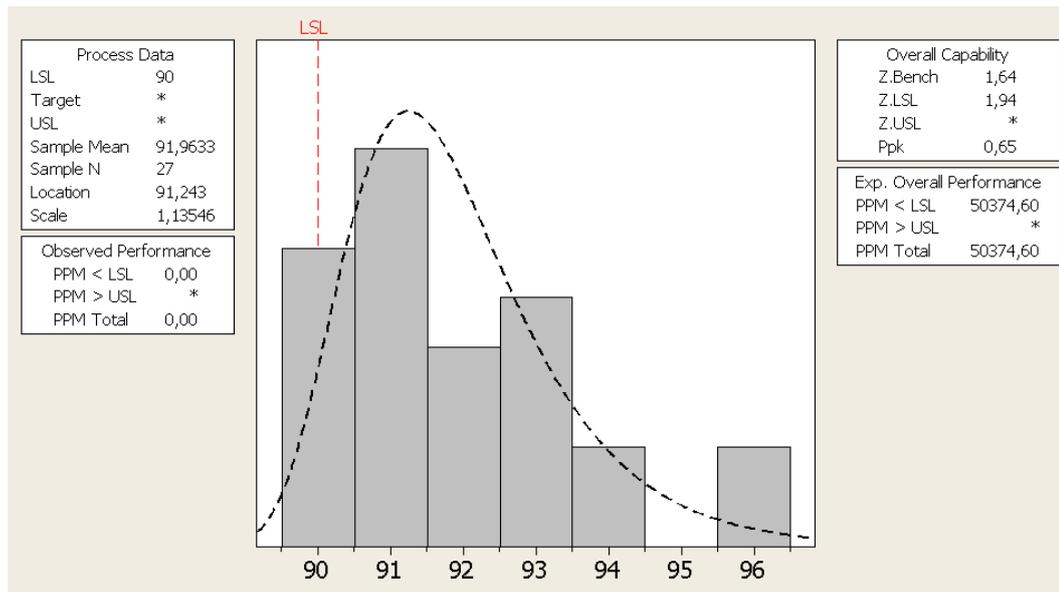


Figura IV. 8 Histograma de la capacidad de proceso del brillo ángulo 20. (Fuente: DPC-Propia 2010).

El sistema transparente termocurable posee un gran número de propiedades, sin embargo se analizaron esas tres porque de acuerdo a la data eran las más críticas. Además son las que cumplen con los valores más bajos de calidad mientras que las demás se encuentran en un rango intermedio de las especificaciones suministradas por la ensambladora automotriz nacional.

Establecer las diferencias que existen entre la formulación del sistema transparente termocurable empleado en la ensambladora nacional y el transparente propuesto.

IV.3 Estudio de la formulación de los sistemas transparentes termocurables en evaluación.

Para realizar una comparación entre los componentes que conforman cada sistema transparente termocurable se tomo en cuenta el tipo de resinas, solventes y aditivos que contenía cada uno.

En la Tabla IV.2 Se muestran los porcentajes de las materias primas empleadas para la producción de los sistemas transparentes termocurables.

Tabla IV.2 Composición de los sistemas transparentes termocurables. (Fuente:DPC- Propia).

Materias Primas	Sistemas Transparentes Termocurables (%)	
	Actual	En evaluación
Resina A	14,25	10,72
Resina B	—	12,96
Resina M	26,54	21,87
Aditivos	37,89	35,91
Solventes	21,32	18,54

La diferencia más notable entre los sistemas transparentes termocurables evaluados son las resinas que los componen.

El sistema propuesto contiene resinas del tipo agente reticulante y resinas del tipo acrílicas con controlador de escurrido. Los agentes reticulantes o melamíνας, contienen grupos aminos secundarios en su estructura química. Las del tipo acrílica con controlador de escurrido, son moléculas formadas por una di-úrea, y estas no reaccionan completamente, cuando se inicia la reacción de curado con el calor.

Las resinas de tipo acrílica con controlador de escurrido que emplea el sistema transparente termocurable, se diferencian entre sí por el tamaño de partícula o del cristal de agente anti-escurrido. Éste está conformado por una serie de moléculas de di-úrea que se entrelazan por medio de un arreglo molecular que forma una red cristalina de manera alargada. Cuando este cristal se mezcla en un sistema transparente, en

forma líquida se encuentra en suspensión y forma redes por interacción de puentes de hidrógenos, ya que sus sitios activos son alcoholes. La presencia de esta resina le proporciona al sistema transparente termocurable un mejor nivelado que el que brinda el sistema empleado por la ensambladora nacional.

II. Fase Medir (Seis Sigma)

Evaluar el sistema transparente termocurable propuesto de acuerdo a lo establecido en el Procedimiento de Evaluación de Producto (PEP).

IV.4 Evaluación del sistema transparente termocurable propuesto en estado líquido.

La evaluación del sistema transparente termocurable propuesto (L) se realizó mediante las pruebas indicadas en el Procedimiento de Evaluación de Productos (PEP) el cual es establecido por la ensambladora a la cual se desea adaptar el nuevo producto. Dichas pruebas se realizaron para los dos estados existentes de la pintura, líquida y sólida.

Para el estado líquido del sistema transparente termocurable L se determinaron las siguientes propiedades: porcentajes de sólidos, peso por galón, resistividad, estabilidad acelerada y a largo plazo.

Tabla IV. 3 Resultados obtenidos del sistema transparente termocurable en estado líquido.

% Sólidos	P/G (Kg/Gl)	Resistividad (Mohm*cm)	Estabilidad (s)
47	3,607	294,74	5,36

Los resultados que se observan en la tabla IV.2 es un promedio de las mediciones realizadas a los 20 pilotos preparados.

De acuerdo a estos resultados, el sistema transparente termocurable L posee una alta cantidad de sólidos, lo cual, es beneficioso debido a que los espesores podrán alcanzarse con mayor facilidad.

El peso por galón y las estabilidades se encuentran dentro de las especificaciones del cliente, mientras que la resistividad, la cual es de 294,74 Mohm*cm está por debajo de lo requerido por el cliente. Sin embargo, esta propiedad puede ser controlada por el operario ya que la aplicación de los sistemas transparentes termocurables en las líneas se realiza con pistolas electroestáticas.

IV.5 Evaluación del sistema transparente termocurable propuesto en estado sólido.

Los resultados de las pruebas que se muestran a continuación se realizan simulando condiciones a las cuales podría estar expuesto el vehículo.

Como se observa en la Figura IV.9 en ninguna de las láminas expuesta a ácidos presentó manchas ni delaminación del sistema transparente termocurable.

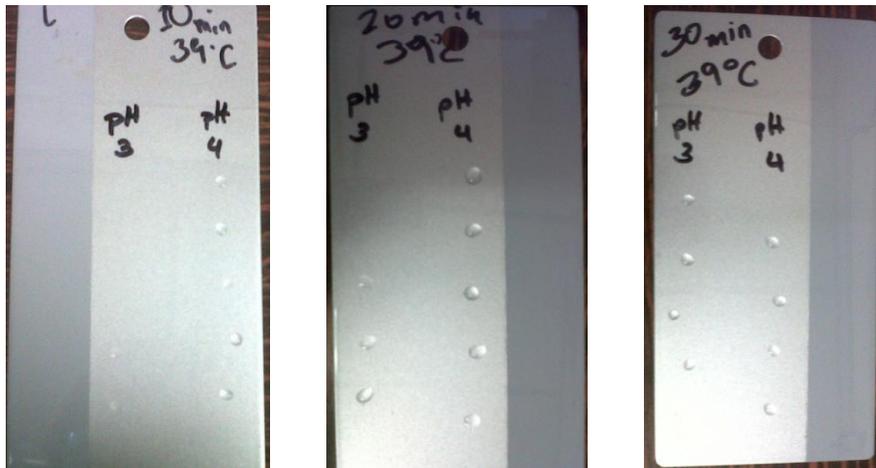


Figura IV. 9 Prueba de resistencia a ácido sulfúrico. (Temperatura: 39°C)

También se realizó la prueba de resistencia al agua y jabón, donde se determina la resistencia de la película al manchado o cambio de color. Esta es una de las pruebas más importantes debido a que el vehículo se encontrará expuesto a dicha mezcla repetidas veces. Por lo que el sistema transparente termocurable debe garantizar que no habrá cambio de color, manchas o delaminación del mismo.

En la Figura IV. 10 se observa el resultado que se obtuvo al exponer el sistema transparente termocurable a una mezcla de agua destilada y jabón líquido. Cabe destacar que dicha prueba es solo visual, y se determinó que el sistema transparente es capaz de mantener el color y evitar el manchado producido por una mezcla de jabón.

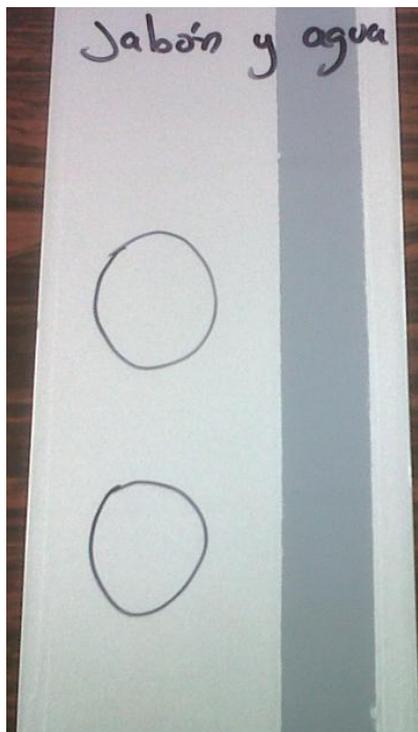


Figura IV. 10 Resistencia a una mezcla de agua y jabón a una temperatura de 70°C.

Otra prueba de desarrollo realizada fue la de inmersión al agua. En esta prueba se evaluó el brillo y la adhesión antes y después de la inmersión, los datos se observan en la Tabla IV.4

Tabla IV. 4 Resultados obtenidos de la inmersión al agua.

Laminas	1	2	3
Brillo inicial	89	89,4	88,4
Brillo final	92,6	92	92,1
Adhesión (%)	0	5-15	0
Resultado	Aprobado	Rechazado	Aprobado

La lámina número 2 fue rechazada debido a que en la prueba de adhesión se extrajo casi el 15% de la pintura. Sin embargo, las otras dos laminas fueron aprobadas porque hubo 0% de desprendimiento, como se observa en la Figura IV.11.



Figura IV. 11 Laminas después de la inmersión al agua destilada a 39°C.

Con respecto a la lámina rechazada se realizó la adhesión en un área externa a la inmersión al agua destilada. Y se observó un desprendimiento de aproximadamente del 5% de la pintura. Por lo que se concluye que el desprendimiento observado en el área expuesta al agua destilada se debe a que el sistema anticorrosivo aplicado en el panel se encontraba vencido. Lo que facilitó la penetración del agua al sistema produciendo un ampollamiento de la película.

Otra prueba realizada es la resistencia al xileno. Cabe destacar que este compuesto forma parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice octano. Por lo que la prueba se basa en determinar cuánto disminuye el brillo ángulo 20 después de ser aplicado 10 veces sobre un panel previamente aplicado con el sistema automotriz completo.

Tabla IV. 5 Resultados obtenidos a la resistencia de xileno.

Brillo inicial	97,1	96,9	95,8
Brillo final	92,1	91,8	90,9

En la Tabla IV.5 se observa los resultados obtenidos cuando la variación del brillo final menos la inicial es de más de 10 se puede decir que la prueba es negativa. Sin embargo, la variación en el brillo fue de cinco (5) y además la lámina no presento ningún tipo de laceración. Esto es bastante satisfactorio porque se comprueba que el sistema transparente termocurable funciona correctamente como protector de la pintura.

Porque a pesar del ataque con dicho solvente el brillo no varía significativamente. Esta protección que brinda el sistema transparente termocurable propuesto se debe a la mezcla de resinas que posee, las cuales tienen enlaces difíciles de romper.

Todas las pruebas presentadas anteriormente son realizadas para la determinar la resistencia química que posee el sistema transparente termocurable en evaluación.

Por otro lado, se determinó la resistencia del sistema transparente termocurable en evaluación al desprendimiento o desconchamiento debido a los impactos producidos por piedras (situación que podría presentar el automóvil en lo cotidiano). El resultado se observa en la Figura IV.12



Figura IV. 12 Resistencia al impacto con piedras a temperatura ambiente.

En la Tabla IV.6 se observa que hubo impactos hasta el metal. Sin embargo, el mayor porcentaje obtenido con respecto a todos los impactos reconocidos en la lámina fueron los que ocurrieron en la interfase del fondo y la pintura.

Tabla IV. 6 Resultados de la resistencia al impacto con gravas.

Impacto	Base color	Fondo	Metal
%	51	31	18

Otra prueba realizada fue la del brillo con rehorneo. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla IV. 7

Tabla IV. 7 Resultados obtenidos de la prueba de rehorneo.

Brillo inicial	Brillo Final
95,3	96,7
96,1	97,1
96,8	97,4

La variación del brillo fue de aproximadamente uno (1) y se reprodujo en las tres laminas. El valor que se obtuvo como resultado es bastante significativo ya que no está disminuyendo el brillo y tampoco se apreció ningún cambio de color en el transparente.

El brillo final obtenido fue mayor debido a que el tiempo extra de horneado ayudo a la reticulación de la resina formando una película más brillante.

Otra propiedad evaluada fue el nivelado tanto vertical como horizontal. Ésta prueba es de suma importancia ya que nos indicará cuán excelente es la apariencia que es capaz de brindar el sistema transparente termocurable.

Ésta se realizó empleando dos bases color diferentes. Una contenía aluminios mientras que la otra contenía perlas, para poder observar el comportamiento del transparente termocurable en sistemas diferentes.

Cabe destacar que el nivelado vertical se realizó con la aplicación y horneado en este sentido al igual para el nivelado horizontal y los espesores de las películas se mantuvieron casi constantes. En Tabla IV. 8 se observan los resultados obtenidos para esta prueba, los valores del nivelado empleando ambas bases color no difieren mucho entre sí. Sin embargo, se pudo observar que en el color plateado se apreciaba mejor el nivelado de la película.

Tabla IV. 8 Resultados obtenidos de la prueba de nivelado.

Bases color	QMS Vertical	QMS Horizontal
Plata Galáctico	59,1	62,8
	59,7	62,6
	58,7	62
Verde Turmalina	57,2	60,8
	57	60,2
	57,6	60

Por último, se evaluaron dos propiedades las cuales son esenciales en un sistema transparente termocurable. Y son el solvente atrapado, que es causado cuando los solventes más volátiles encapsulan a los menos volátiles creando una burbuja. Y el escurrido es causado por

la acción gravitacional cuando una película de pintura húmeda alcanza un gradiente de espesor mayor en un área específica.

Para el solvente atrapado se obtuvo que cuando la película tiene un espesor mayor a 3,1 mils, comienza a aparecer las burbujas, este resultado se encuentra dentro de las especificaciones del cliente (en el apéndice A Tabla A.2 se muestran los resultados para todos los pilotos).

Por otro lado para el escurrido se obtuvo a un espesor de 2,1 mils el sistema transparente termocurable comienza a presentar escurrido, este resultado se encuentra fuera de las especificaciones del cliente por lo que se realizó una prueba de normalidad de los datos.

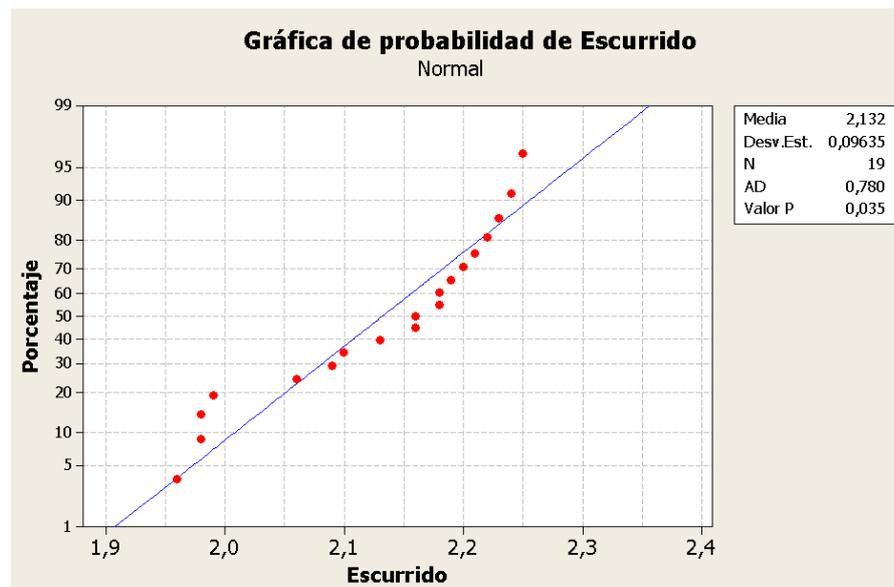


Figura IV. 13 Grafica de probabilidad de escurrido.

De acuerdo a la Figura IV.13 los datos obtenidos de escurrido no siguen una distribución normal. Por lo que se realizó un análisis de distribución individual, para identificar el modelo que se emplearía para realizar el análisis de capacidad de proceso, como se observa en la Figura IV.14.

De acuerdo a la Figura IV.14 los resultados obtenidos se encuentran fuera de las especificaciones del cliente. Por lo que se realizó un estudio de repetitividad y reproducibilidad donde se trata de evaluar en forma experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición. Y cuantificar si este error es mucho o poco, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de las características de calidad que se mide. [9]

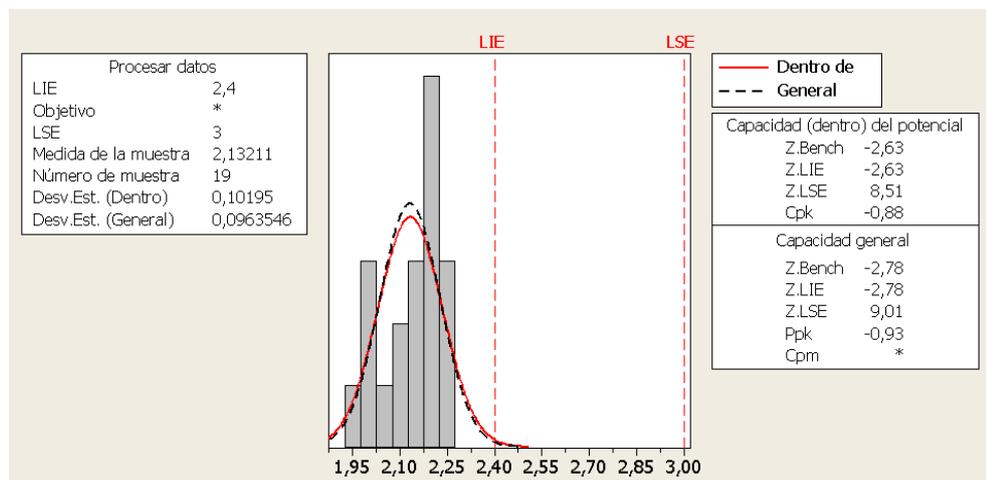


Figura IV.14 Grafica de capacidad de proceso del Escurrido del sistema transparente termocurable.

El método empleado para el estudio de repetitividad y reproducibilidad fue el método corto. Donde se emplearon dos operadores y a cada uno se les entregó 10 pilotos del sistema transparente termocurable para evaluar la propiedad del escurrido.

Con los datos obtenidos por cada operador se determinó el índice de Precisión/Tolerancia el cual fue de 62%. Esto significa que los resultados obtenidos son inaceptables, y que el sistema transparente posee un valor bajo de escurrido. Sin embargo, los resultados obtenidos

de las propiedades de apariencia demuestran que el bajo escurrido no afecta al nivelado de la película.

Comparar las propiedades químicas y mecánicas del sistema transparente termoestable empleado por la ensambladora nacional con las propiedades del sistema transparente termoestable propuesto.

IV.6 Comparación de las propiedades químicas y mecánicas del sistema transparente termocurable.

Una forma para incursionar un nuevo producto al mercado automotriz nacional es demostrándole al cliente las virtudes que posee para ello se realiza una comparación entre las propiedades brindadas por ambos sistemas transparentes termocurable.

Las propiedades químicas que se evaluaron en este objetivo fue la resistencia a solventes y ácidos. Ambos sistemas transparentes termocurables ofrecen una película sólida difícilmente de romper. Por lo que a través de estas propiedades no se logró marcar una diferencia significativa entre los sistemas transparentes termocurables.

Por otro lado, se evaluaron las propiedades mecánicas de ambos sistemas transparentes termocurables, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla IV.9.

Tabla IV. 9 Propiedades mecánicas evaluadas al sistema transparente termocurable.

Pruebas	Sistemas Transparentes	
	Actual	En evaluación
Dureza lapiz	F	H
Brillo	88,5	97,5
Adhesión	0	0
Flexibilidad	0	0

Se observó diferencia en la dureza y en el brillo (ángulo 20), el sistema transparente termocurable posee mayor dureza debido a la mezcla de resinas acrílicas. Cabe destacar que el polímero, permite la formación de una película sólida, adherente, plástica, tenaz y resistente a diversas agresiones físicas y químicas. Los sistemas poliméricos que producen sistemas termocurables tienen la capacidad de reaccionar químicamente entre sí. Existe la posibilidad de cada macromolécula pueda establecer múltiples puntos de reacción. Debido a la presencia de más de un grupo funcional lo que lleva a la formación de estructuras tridimensionales con alto grado de entrecruzamiento con gran rigidez.[7]

Con respecto al brillo (ángulo 20), se podría explicar por razones parecidas que con la dureza. El fuerte entrecruzamiento entre las resinas que se logran a altas temperaturas favorecen la cristalización del polímero dando como resultado un valor de brillo bastante alto.[7]

IV.7 Medición del nivel sigma del sistema transparente termocurable propuesto.

Se determinó el nivel sigma del sistema transparente termocurable propuesto de manera de establecer una diferencia entre este y el empleado por la ensambladora utilizando la herramienta que brinda seis sigma para evaluar la calidad del producto. Sin embargo, se eligieron solo

las propiedades, donde el sistema transparente termocurable empleado por la ensambladora es menos eficaz identificados en el primer objetivo. Para llevar a cabo la medición del nivel sigma, los datos obtenidos del nivelado de los 20 pilotos evaluados se muestran en el apéndice A Tabla A.3.

Primeramente se realizó un estudio de normalidad por Anderson-Darling, obteniéndose un valor del factor P de 0,146 para el QMS vertical, para el QMS horizontal se obtuvo un valor del factor P de 0,207 y para el brillo (ángulo 20) fue de 0,200, se muestra en las Figuras IV.15,16 y 17

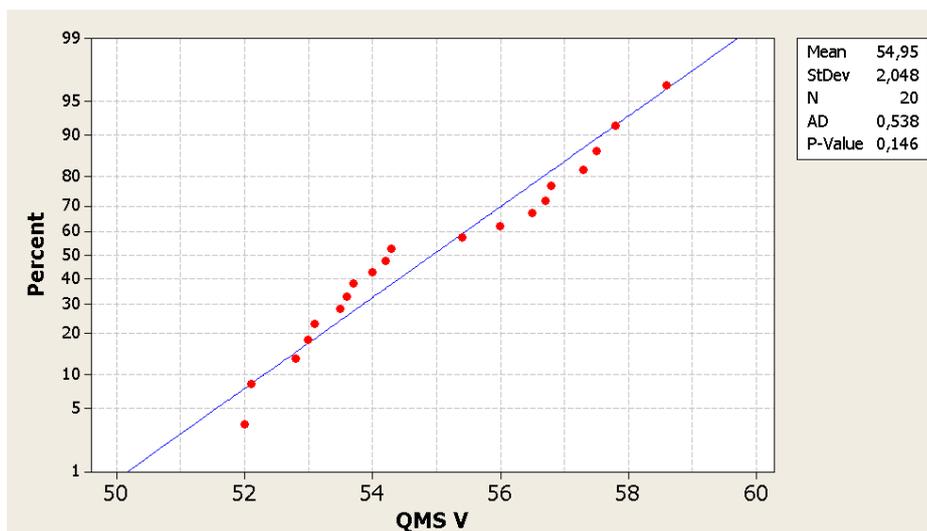


Figura IV. 15 Gráfica de probabilidad del nivelado vertical del sistema transparente termocurable.

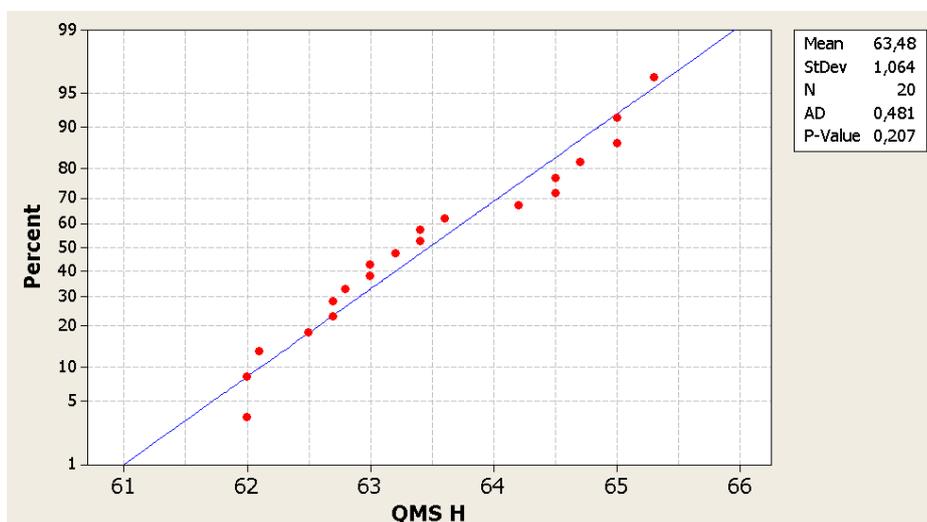


Figura IV. 16 Gráfica de probabilidad del nivelado horizontal del sistema transparente termocurable.

Con los datos se obtuvo la capacidad de proceso y con este el nivel sigma del producto por cada propiedad, como se muestra en las Figuras IV.18,19 y 20. el valor estadístico Z (nivel sigma) para el nivelado horizontal fue 3,23, para el nivelado vertical fue de 2,38 y para el brillo (ángulo 20) fue 2,08.

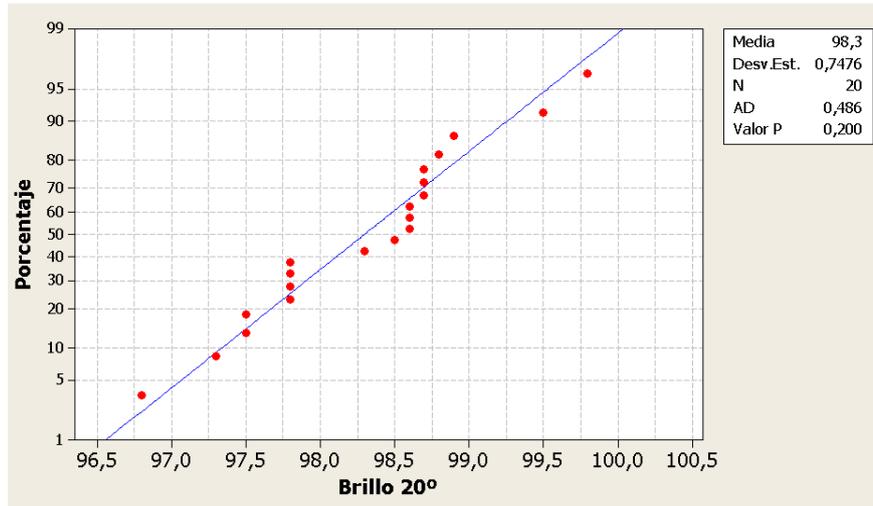


Figura IV. 17 Gráfica de probabilidad del brillo del sistema transparente termocurable.

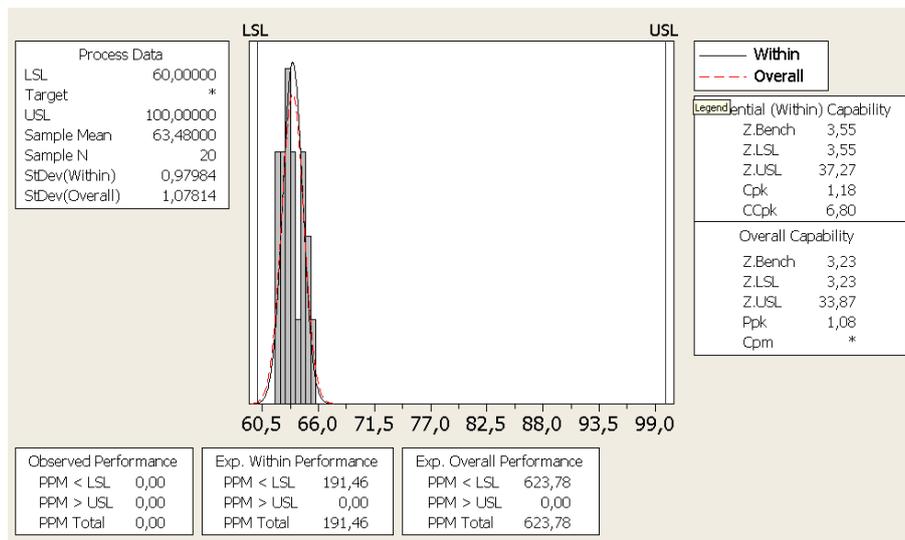


Figura IV. 18 Capacidad de proceso del nivelado horizontal.

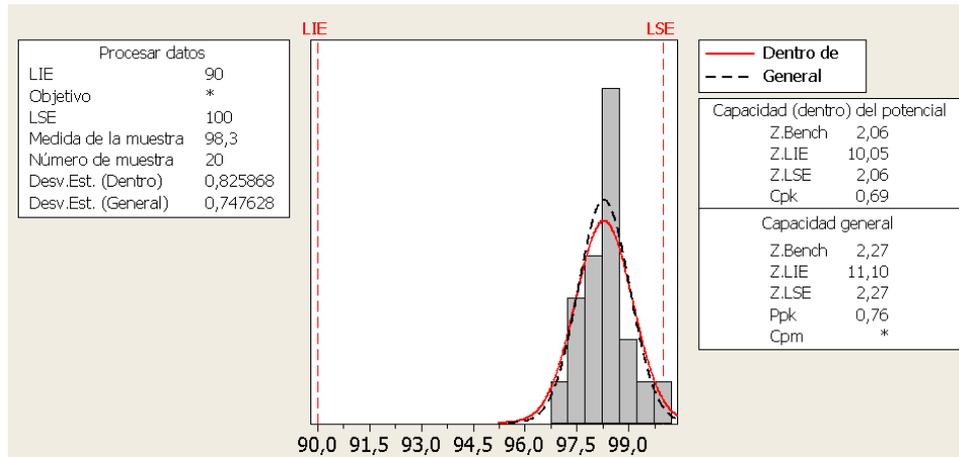


Figura IV. 19 Capacidad de proceso del brillo (ángulo 20).

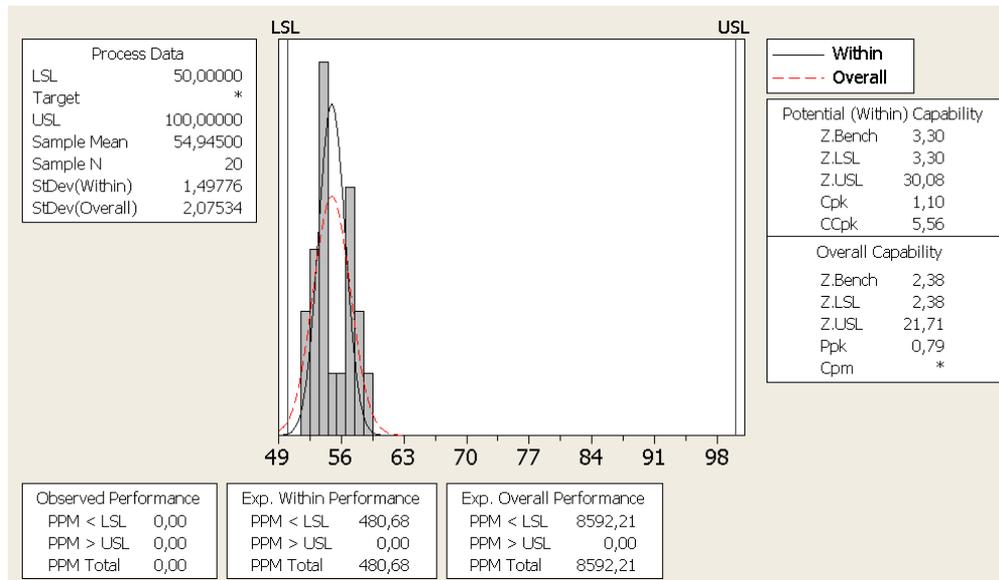


Figura IV. 20 Capacidad de proceso del nivelado vertical.

Con estos resultados se realizó una comparación con los niveles sigma obtenidos por el sistema transparente termocurable empleado actualmente por la ensambladora en la Figura IV.21 se observa que el sistema transparente en evaluación es de mejor calidad debido a que brinda a la superficie pintada un mejor nivelado y valores altos de brillo ángulo 20.

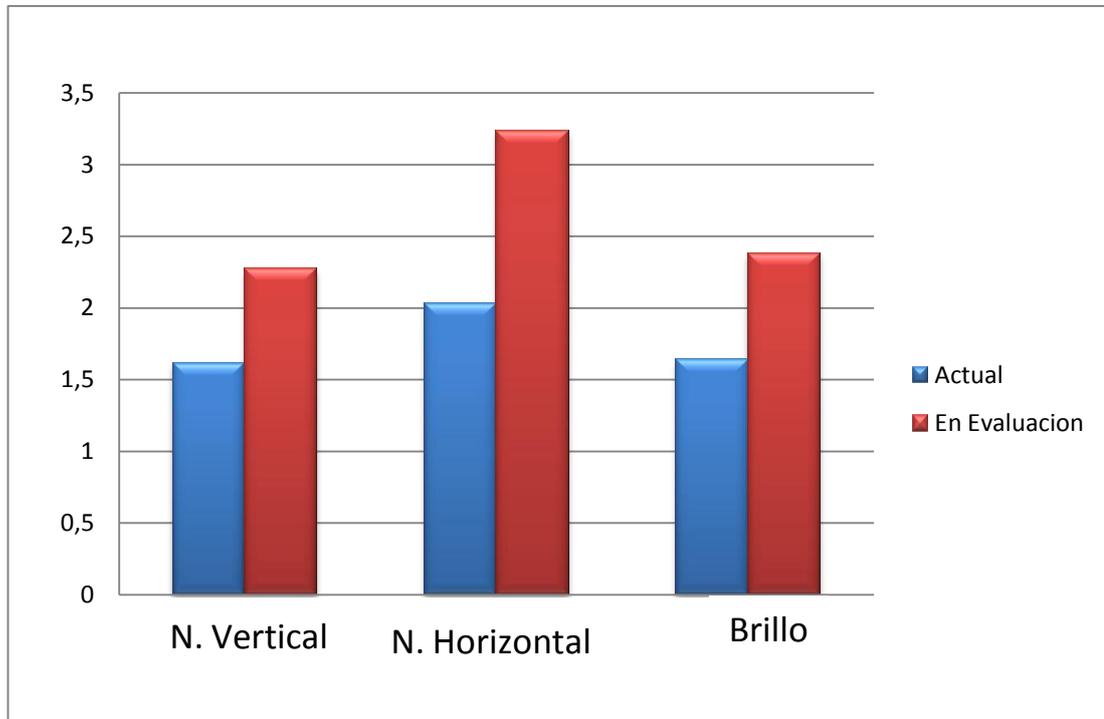


Figura IV.21 Comparación entre los niveles sigma de ambos sistemas transparentes termocurables. (Fuente: propia).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que garantizan que el sistema transparente termocurable propuesto puede ser implementado y logra cumplir con las especificaciones establecidos por la ensambladora automotriz nacional.

V.1 Conclusiones de la investigación

- El sistema transparente termocurable empleado por la ensambladora nacional posee un nivel seis sigma bastante bajo para las propiedades de nivelado vertical ($Z=1,61$), horizontal ($Z=2,03$) y brillo (ángulo 20°) ($Z=1,64$).
- El sistema transparente termocurable propuesto contiene en su formulación una resina que posee cristales de fosfato pequeños. A diferencia del sistema transparente termocurable empleado por la ensambladora que carece de esta.
- El sistema transparente termocurable propuesto brinda un mejor brillo y un mejor nivelado que el sistema transparente termocurable empleado por la ensambladora automotriz. Este se observa en el nivel sigma obtenido, nivelado vertical ($Z=2,38$), horizontal ($Z=3,23$) y brillo ángulo 20 ($Z=2,08$).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gonzalez, María M. (2010). *Estudio de las causas que generan la aparición de cráteres en los fondos del sistema original de pintura automotriz en el proceso de producción de la empresa Dupont Performance Coatings de Venezuela, C.A.* Universidad de Carabobo.
2. Ochoa, C. y Dicristanziano, J. (2008). *Mejora del Proceso Productivo del Producto "Fondo Gris"; Siguiendo La Metodología Seis Sigma. Caso: Dupont Performance Coatings De Venezuela, C.A.* Universidad de Carabobo.
3. Lecuna, M. (2007). *Desarrollo de un Sistema Transparente Termoestable a Ser Usado en el Mercado Automotriz, Mediante la Metodología Seis Sigma.* Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.
4. Amiuny, M. (2003). *Evaluación de la influencia de la tensión superficial en la formación de defectos de película.* Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.
5. Murphy, K.D. (1994). *Determinación del impacto de antiespumantes en el proceso de elaboración de resinas de melamína, como causantes de cráteres en el transparente.*
6. Weismantel, G. (1981). *Paint Handbook.* 1ra. Edición. McGraw-Hill. Estados Unidos de América.
7. Brandau, A. (1990). *Introduction to Coatings Technology.* 1ra. Edición. Federation of Societies for Coating Technology. USA.
8. BYK Chemi. *Aditivos para Pinturas.* Información Técnica.
9. DuPont Performance Coatings Venezuela, C.A. *Manuales Corporativos.*
10. Gutiérrez, H. De la Vara, R. (2004). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.* 1era Edición. McGraw-Hill Interamericana. México.

11. Ellis, W. (1986). *Solvents*. Publicado por la Federación Series on Coatings Technology. Philadelphia, Estados Unidos.
12. Pande, P. Neuman, R. Cavanagh, R. (2002). *Las Claves de Seis Sigma*. 1era Edición. McGraw-Hill Interamericana de España. México.
13. Montero, R. (2006). *Desarrollo de un Plan para el Control de los Agentes que Inducen a la Formación de Cráteres en el Transparente de la Empresa Dupont Performance Coatings Venezuela C.A.* Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.
14. Balestrini, M., (2001). *Como se Elabora el Proyecto de Investigación*. 5ta Edición. Consultores Asociados, Servicio Editorial. Caracas.
15. Sampieri, R., (2003). *Metodología de la Investigación*. 3era Edición. McGraw-Hill Interamericana. México. p. 119, 126, 188.
16. Fazenda, J. (2005). *Tintas & Vernizes, Ciencia e Tecnología*. Editora Edgard Blucher. Brasil.

Fuentes electrónicas:

17. www.books.google.co.ve

APÉNDICE A TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla A. 4 Datos obtenidos de los pilotos preparados del sistema transparente termocurable propuesto.

Sólidos	P/G	Resistividad	Estabilidad
47,93	3,642	290	5,66
47,1	3,574	290	5,03
45,52	3,515	290	5,45
47,6	3,636	300	5,67
47,03	3,605	300	5,36
48,7	3,679	290	5,38
47,65	3,639	300	5,48
47,89	3,641	290	5,62
47,72	3,64	300	5,08
46,97	3,567	290	4,82
47,76	3,64	300	5,01
47,39	3,589	290	5,23
47,54	3,625	300	5,61
47,68	3,641	300	5,37
45,09	3,498	290	5,62
47,38	3,579	300	
46,75	3,552	300	
47,86	3,64	290	
47,91	3,64	290	

Tabla A.2 Resultados obtenidos del escurrido y solvente atrapado del sistema transparente en evaluación.

Escurreido	Solvente A
2,23	3,1
2,16	3,2
1,96	3,1
2,1	3
2,2	3,4
1,99	3,2
2,09	3,1
2,19	3,3
2,25	3,1
2,18	3
2,06	3,5
2,18	3,2
2,21	3
1,98	3,2
2,13	3,1
2,16	3,4
2,22	3,2

Tabla A. 5 Datos obtenidos del nivelado vertical, horizontal y brillo (ángulo 20) del sistema transparente termocurable propuesto.

QMS V	QMS H	Brillo 20°
53,5	63,2	93,4
52	62	92
52,8	62,7	92,5
53,1	62,5	92,8
54	62	91
57,5	65	97,5
56	64,7	96
53,7	63	93,7
54,2	64,2	94,2
57,3	65,3	97,3
56,5	64,5	97,5
58,6	63,6	98,6
57,8	65	97,8
56,8	62,8	96,8
54,3	63,4	93,4
53,6	62,7	93,6
52,1	62,1	93,1
55,4	64,5	95,4
56,7	63,4	96,7
53	63	93

APENDICE B PROCEDIMIENTOS

A continuación se muestra la descripción más detallada de cada uno de los procedimientos utilizados para la realización de la evaluación del sistema transparente termocurable.

B.1 Escurrido

- Diluya el producto a ser evaluado con el solvente y en las condiciones de uso, según lo descrito en el PEP del cliente y/o las indicaciones descritas en el Plan de Inspección.
- En el soporte de la cabina de aplicación, coloque la lámina tal como se muestra en la figura III.1, de manera que los orificios de las láminas estén colocados en forma vertical y hacia el lado derecho del operador.
- Divida, imaginariamente, el panel en 5 (cinco) secciones de igual tamaño.

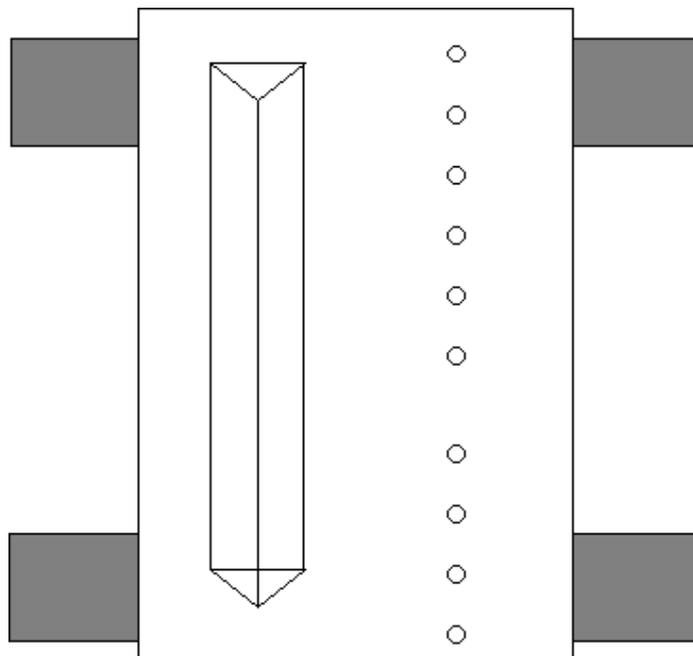


Figura B.1 Posición de la lámina

- Aplique una mano sobre todo el panel a una distancia entre 15 y 20 cm de la lámina y de la pistola con el fin de alcanzar un espesor de 25 micrones, aproximadamente.
- Dar un oreo de 30 segundos y luego dé un pase sobre las cuatro secciones de abajo, saltando la sección superior y permitiendo un oreo de 30 segundos por cada pase.
- Continúe la aplicación del transparente suprimiendo cada vez una sección hasta aplicar sólo la última de abajo.
- Formación de las gotas en los agujeros centrales de la lámina:

a.- ***Si OBSERVA la formación de gotas en los agujeros centrales de la lámina*** al finalizar el paso 6, coloque la lámina con los agujeros en forma horizontal y de un flash off de 2 min como se muestra en la Figura III.2.

b.- ***Si NO OBSERVA la formación de gotas en los agujeros centrales de la lámina***, aplique otro pase en toda la lámina y dé 30 segundos de oreo. Realice esta operación hasta la formación de la gota en los orificios centrales.

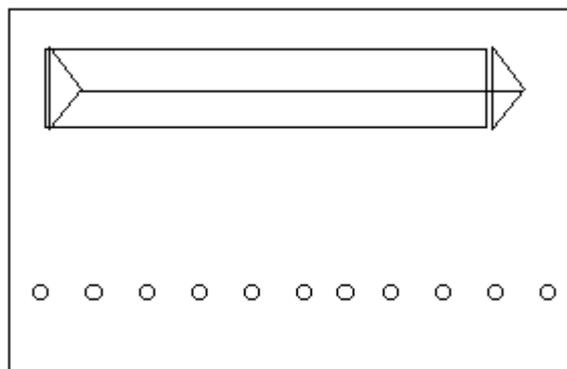


Figura B.2 Lámina en posición vertical

- Hornee manteniendo la lámina en posición vertical (como se muestra en la Figura III.2) según la temperatura y el tiempo descritos en el PEP y/o en el plan de inspección.
- Retire la lámina del horno y deje enfriar.
- Tal como lo indica la Figura III.3, trace, con un bolígrafo, una línea recta siguiendo el borde inferior de los orificios.
- Tal como lo indica la Figura III.3, trace, con un bolígrafo, otra línea curva (puede utilizar una regla para trazar curvas) uniendo la parte inferior de los escurridos.

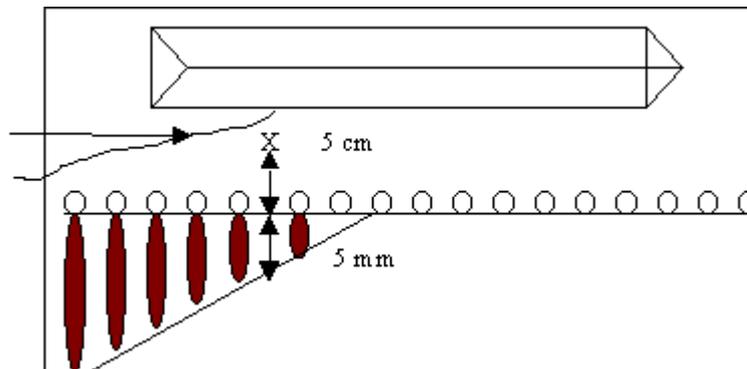


Figura B.3 Escurrido de la línea de carácter

- Mida la distancia entre ambas líneas hasta encontrar los 5 mm de separación.
- Tome el punto anterior de referencia (12) y mida el espesor de la película a 5 cm por encima de la línea horizontal, siendo esta la zona que indica el espesor, donde la película tiene tendencia de escurrido (X). Este valor se reporta como la medida del escurrido.

B.2 Solvente Atrapado

- Tome un panel del 12 x 18 pulg. y péguelo un tirro de 2 pulg. e la orilla derecha y marque más o menos cada 3.5 pulgadas con un marcador negro.
- Seleccione la muestra de pintura a evaluar y ajústela a viscosidad de aplicación con el solvente normalmente usado en producción.
- Aplique de la siguiente manera:
- Primero tape con hojas de las cinco secciones de abajo y aplique con esmalte la primera de arriba una mano húmeda (aprox. 0.7 mils.).
- Oree 1 minuto y 30 segundos.
- Destape la segunda sección, aplique la mano de pintura húmeda (aprox. 0.7 mils) oree a 1 minuto y 30 segundos, y así sucesivamente hasta cubrir la ultima sección, con un oreo entre mano y mano de 1 min. y 30 seg.
- Después de cubrir con esmalte la ultima sección, déle un oreo final de 4 minutos.
- Hornee el panel horizontalmente 20' x 135 °C
- Mida espesores donde comienza a observarse el solvente atrapado.



Figura B.4 Equipo para la medición de espesores.

B.3 Estabilidad a largo plazo

- Preparar 600 g del transparente propuesto y medir viscosidad en copa Ford 4

La copa Ford es adecuada para medir la viscosidad de pinturas a través del siguiente procedimiento:

- Agitar hasta homogeneizar la muestra.
- Llevar la muestra a 25 +/- 1 °C aproximadamente.
- Tapar con el dedo el orificio inferior de la Copa Ford N° 4 y vierta la muestra hasta rebozar ligeramente.
- Enrasar con una espátula limpia para eliminar el exceso y esperar hasta que las burbujas de aire de la superficie desaparezcan.
- Simultáneamente accionar el cronómetro y quitar el dedo del orificio.

- Parar el cronómetro cuando el flujo del líquido deje de ser continuo.
- Reportar el tiempo en segundos hasta que el flujo deje de ser continuo, esto representara la viscosidad.
- Lavar la copa después de cada prueba con solvente de limpieza.



Figura B.5 Copa Ford 4

- Sellar bien el envase y dejar durante 90 días a temperatura ambiente.
- Transcurrido el tiempo se observa la presencia de grumo y el aumento de la viscosidad.

B.4 Resistividad

- Inserte el plug de la celda en el orificio que se encuentra en el lado derecho del equipo.
- Fije el botón selector de la escala en el modo kilo Ohm, girándolo a la derecha.
- Recordar que la temperatura debe estar según especificación del cliente.

- Sumerja la celda verticalmente dentro de la muestra bien mezclada hasta que los 2 orificios de la celda queden sumergidos en la muestra.
- Reporte el valor indicado en la pantalla que esta en las unidades indicadas por el selector.

B.5 QMS vertical y horizontal

- Aplicar el sistema completo de pintura automotriz, empleando dos bases color, uno metalizado y otro sólido.
- La aplicación se realizará en 3 láminas de aluminios, para aplicación vertical y horizontal.
- Hornear en la posición correspondiente.
- Realizar las mediciones del nivelado con el equipo wave scan (ver Figura B.6)

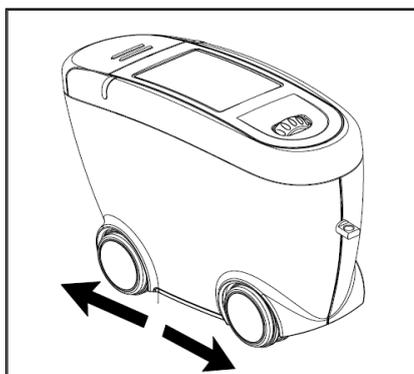


Figura B.6 Equipo de Wave Scan

B.6 Resistencia a soluciones ácidas

- El ácido a emplear es el ácido sulfúrico a pH 3 y 4.
- Aplicar 5 gotas de cada ácido, en tres láminas, tapan con vidrio de reloj y colocar en horno de 35 a 39°C por 10, 20 y 30 min. Luego lavar el panel.

- No puede observarse laminación del transparente

B.7 Resistencia al Xileno

- Aplicar el sistema completo de pintura automotriz en láminas de acero.
- Dejar envejecer las láminas durante 24 horas.
- Medir brillo en el ángulo de 20° (ver Figura B.7)
- Empapar una sonda con xileno y frotar la lámina 10 veces.
- Medir brillo nuevamente.



Figura B.7 Glossmeter

B.8 Inmersión en agua

- Sumergir el panel a más de la mitad en un baño de agua destilada y/o desionizada a una temperatura constante entre 31 a 33 °C.
- Dejar las láminas inmersas por un tiempo de 240 horas.
- Después del tiempo requerido, sacar y dejar en reposo por un tiempo de 30 minutos.
- Evaluar el panel después de 30 minutos.

B.9 Dureza lápiz

- Remover 3 mm de la corteza de madera de los lápices

- Luego con el lápiz en forma vertical con respecto a la superficie deslizar de un lado a otro sobre papel de lija según especificación del cliente, hasta hacer llana la punta del mismo.
- Tomar el lápiz de mayor dureza en un ángulo de 45 grado con respecto a la superficie de la película de pintura deslice firmemente con la mano en forma de zigzag.
- Realizar el proceso durante cuatro segundos si la cantidad de raya o marca dejadas por el lápiz es mayor de dos siga un orden descendente de dureza de la serie de lápiz, hasta conseguir uno que no raye más de dos veces.

B.10 Adhesión

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



Figura B.8 Equipo para medir adhesión