



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA
FORMULACIÓN DE COLORES AUTOMOTRICES PARA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE
UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

Geovany Salvador Matzar Zapeta

Asesorado por el Mtro. Lic. Francisco Bernardo Raúl De La Rosa

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA
FORMULACIÓN DE COLORES AUTOMOTRICES PARA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE
UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GEOVANY SALVADOR MATZAR ZAPETA

ASESORADO POR EL MTRO. LIC. FRANCISCO BERNARDO RAÚL DE LA ROSA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE COLORES AUTOMOTRICES PARA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha marzo de 2013.

Geovany Salvador Matzar Zapeta

Ref. *EEPT-185-2020*
Guatemala, 12 de febrero de 2020

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE COLORES AUTOMOTRICES PARA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS**, presentado por el estudiante **Geovany Salvador Matzar Zapeta** carné número **200818909**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes Gestión Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular,

Atentamente,


"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Francisco Bernardo Raúl De La Rosa
Asesor

Francisco De La Rosa
Lic En Matemática Aplicada
Col. 8335


Mtro. Hugo Humberto Rivera Pérez
Coordinador de Maestría
Gestión Industrial




Mtro. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EPMI-008-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE COLORES AUTOMOTRICES PARA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS**, presentado por el estudiante universitario Geovany Salvador Matzar Zapeta, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2020

DTG. 400.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE COLORES AUTOMOTRICES PARA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE UTILIZANDO MÉTODOS ESTADÍSTICOS**, presentado por el estudiante universitario: **Geovany Salvador Matzar Zapeta**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, noviembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la fuerza y sabiduría para poder concluir una meta más en mi vida.
- Mi padre** Francisco Matzar por su cariño y apoyo infinito.
- Mi madre** Manuela Zapeta, que en paz descanse, por su ejemplo de perseverancia, el amor y confianza que siempre tuvimos.
- Mis hermanos** Marta, Victoria, Francisco, Anabella y Silvia Matzar. Gracias por el ejemplo, consejo y comprensión que siempre me han brindado.
- Mis sobrinas** Manuela Matzar y Sofía Saucedo por la alegría de su compañía en este trayecto de mi vida.
- Mis abuelos** Salvador Zapeta y Marta López, Martín Matzar y Victoria Pérez. Que en paz descansen. Por brindarle un legado de valores y enseñanzas importantes en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas y permitirme alcanzar mis anhelos académicos.
Facultad de Ingeniería	Por los conocimientos transmitidos y la visión que han formado en mí.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial	Por el acompañamiento y formación a lo largo de mi carrera.
Mi asesor	Mtro. Francisco de la Rosa, por su ayuda y asesoramiento en mi trabajo de graduación.
Mi familia	Por la motivación y ejemplo que siempre me transmiten.
Mis amigos	Por su amistad y colaboración desinteresada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
3.1. Descripción del problema.....	5
3.2. Breve descripción de la empresa.....	5
3.3. Formulación del problema.....	6
3.4. Delimitación.....	6
4. JUSTIFICACIÓN.....	7
5. OBJETIVOS.....	9
5.1. General.....	9
5.2. Específicos.....	9
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	11
7. MARCO TEÓRICO.....	13
7.1. Proceso de enderezado y pintura.....	13
7.1.1. Enderezado de carrocería.....	13
7.1.2. Preparado de carrocería.....	15
7.1.3. Pintura de carrocería:.....	17

7.1.4.	Control de calidad del acabado.	19
7.2.	Colorimetría	21
7.2.1.	Colorimetría en pintura automotriz.....	21
7.2.2.	Códigos de color en la industria automotriz.	24
7.2.3.	Componentes de la pintura automotriz.	25
7.2.4.	Sistemas de pintura automotriz.	27
7.3.	Medición del color	29
7.3.1.	Fundamentos del color.	30
7.3.2.	Atributos de color.....	32
7.3.3.	Coordenadas cromáticas:.....	33
7.3.4.	Instrumentos de medición.....	34
7.4.	Sistemas de medición de color.....	35
7.4.1.	Comisión Internacional de la Iluminación (CIE)...	35
7.4.2.	Sistema Cielab.	36
7.4.3.	Sistema Cielch.....	37
7.4.4.	Variabilidad del color.	39
7.5.	Modelos matemáticos.....	39
7.5.1.	Modelado y simulaciones.....	40
7.5.2.	Métodos estadísticos	40
7.5.3.	Tipos de variables	42
7.5.4.	Estudio de tiempos y movimientos.	43
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	45
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Diseño.....	47
9.2.	Enfoque.....	47
9.3.	Tipo de estudio.....	47
9.4.	Análisis y obtención de información.....	48

9.5.	Alcance.....	48
9.6.	Variables.....	48
9.7.	Fases de metodología a aplicar.....	49
9.8.	Resultados esperados.....	50
9.9.	Población y muestra.....	50
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	51
10.1.	Observación.....	51
10.2.	Estadística descriptiva.....	51
10.2.1.	Medidas de tendencia central.....	51
10.2.2.	Medidas de dispersión.....	51
10.2.3.	Índices de capacidad del proceso.....	52
10.3.	Diagramas de dispersión de medias independientes.....	52
11.	CRONOGRAMA.....	53
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	55
13.	REFERENCIAS.....	57
14.	APÉNDICES.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Coordenadas cromáticas	37
2.	Sistema Cielch	38

TABLAS

I.	Variables de estudio.....	49
II.	Cronograma de actividades.....	53
III.	Recursos financieros.....	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h*	Ángulo de tono o matiz
a*	Coordenada amarillo/azul
b*	Coordenada rojo/verde
l*	Luminosidad
c*	Saturación del color

GLOSARIO

CIE	Comisión Internacional de la luz y el color.
Cromaticidad	Grado de diferencia existente entre un color y un gris de su misma luminosidad y claridad.
Luminosidad	Se refiere a la claridad, es una propiedad de los colores.
Triestimulo	La descripción de una sensación de color medida en cantidades de estímulos luminosos simultáneos procedentes de tres colores primarios.
Variabilidad	Todos aquellos colores que tienen la posibilidad de cambiar.

1. INTRODUCCIÓN

El color en los recubrimientos automotrices no solo representa la parte estética del automóvil, también es percibido con un atributo de calidad en el acabado final de las reparaciones de carrocería. La presente investigación se basa en la formulación de colores automotrices, principalmente en el color de los acabados automotrices, la medición de los atributos del color en base a modelos matemáticos y el control de la variabilidad del color en base a métodos estadísticos.

El presente diseño de investigación brinda una descripción de los procesos de reparación de carrocerías, poniendo énfasis en la formulación de colores automotrices, el principal problema a resolver es el reproceso de las piezas pintadas en un taller de enderezado y pintura, el cual se debe a una deficiente igualación de color, lo que a su vez provoca cuellos de botella en la operación de pintado de piezas. Para garantizar la satisfacción del cliente es necesario cumplir con los tiempos de entrega y entregar reparaciones de calidad por lo que es indispensable estandarizar la variabilidad del color automotriz.

Se espera obtener como resultados una estandarización de la variabilidad de los colores automotrices, con el acompañamiento del taller se pretende proponer un estándar de la variabilidad del color, en base a la cuantificación de los atributos del color automotriz que se medirá con la ayuda de un espectrofotómetro cuantificando los parámetros que el taller considera de manera empírica como defectuosos, así como los parámetros que el taller considera como un acabado de calidad.

Es importante realizar la investigación para medir los parámetros de variabilidad que el taller considera correctos, las diferentes variabilidades

medidas servirán para lograr un control estadístico del proceso mediante gráficos de control.

La investigación se realiza desde la perspectiva mixta, es decir, de forma cualitativa se desarrolla el marco teórico y de forma cuantitativa se realizarán las mediciones correspondientes de los atributos de color automotriz. El diseño de recolección de datos y solución es de tipo no experimental ya que no se modifica ninguna variable que interviene en el proceso.

El desarrollo de la solución del problema constará de cuatro fases. En la primera fase se realizará una revisión documental sobre el proceso de enderezado y pintura, la medición de color y la utilización de métodos numéricos y estadísticos para el estudio del color y la variabilidad respectivamente. En la segunda fase se efectuará un análisis del proceso de la formulación de colores automotrices, medición de tiempos y mediciones de variables triestímulo del color automotriz. En la tercera fase se evaluará los resultados obtenidos en la medición de los atributos del color automotriz, se determinan las variabilidades de cada una de las características del color y se desarrollará un análisis estadístico de los gráficos de control. En la cuarta fase se propondrá la estandarización de la variabilidad de color y la evaluación mediante métodos estadísticos de un nuevo método que tienen como herramienta de formulación un espectrofotómetro.

La factibilidad del diseño de investigación se debe a que se cuentan con los medios económicos y técnicos para llevarlo a cabo, cuantificar las variables del proceso de formulación de color es un aporte importante dentro de los talleres de enderezado y pintura que desean la estandarización de sus procesos y la satisfacción del cliente.

2. ANTECEDENTES

La evolución en los colores automotrices en las últimas décadas ha tenido cambios significativos, la modernización en los componentes de las pinturas hace que la investigación en cuanto a la cuantificación del color sea necesaria, los acabados novedosos con pigmentos metálicos hacen que el proceso de igualación con el color original sea cada vez más complejo. En base a los aportes realizados por Spitzer, Gottenbos, Van Hensbergen y Lucassen (1996) se abre una visión clara sobre la cuantificación del color automotriz:

La industria de los recubrimientos requiere un proceso de formulación de color rápido y preciso. Los procedimientos manuales y visuales de coincidencia de colores requieren mucho tiempo y requieren altas habilidades, en particular cuando se trata de colores metálicos y perlados. Por esa razón, se siguió un nuevo enfoque de la calorimetría de las pinturas. El nuevo enfoque consiste en la utilización de un aparato de medición y un software que contiene la información para la adecuada formulación de colores. (p. 235).

Amookht, Gordi y Mahdavian (2019) han investigado el efecto del tamaño de las escamas de aluminio en la apariencia del color de los recubrimientos metálicos. El análisis de textura se realizó utilizando la función de autocorrelación y la dimensión fractal en imágenes en escala de grises de las muestras, capturadas por un escáner, y se calculó la diferencia de textura para cada par evaluado. El aporte de los investigadores al estudio del color ayuda a entender que las diferentes de tamaños de escamas de aluminio pueden causar diferentes texturas visuales y consecuentemente diferentes colores.

En el trabajo de Medina y Diaz, (2017) se estudian las propiedades estadísticas de las coordenadas de color para la coincidencia de colores en recubrimientos metálicos para automóviles. Las coordenadas CIELAB de luminosidad L^* , rojo-verde a^* y azul-amarillo b^* se calcularon utilizando mediciones de reflectancia espectrofotométrica de múltiples ángulos de una amplia gama de recubrimientos metálicos de diferentes fabricantes. El aporte de este artículo científico es importante en el diseño de investigación debido a que descubrieron que la varianza muestral y el valor medio muestral de L^* calculado sobre diferentes ángulos de visión se correlacionan entre las piezas pintadas.

En la investigación de Amador, Colunga y Sánchez (2019) se realizó la caracterización de lacas para recubrimientos automotrices específicamente colores blancos, mediante análisis cromático y espectrometría de reflectancia difusa. Concluyen en su análisis una tendencia del color hacia los blancos cálidos, con ligero matiz amarillo. Además mencionan la marcada diferencia de los blancos perlados comparados con el resto de colores lisos. El aporte de este artículo científico en la investigación del color automotriz demuestra la variabilidad entre diferentes acabados de color blanco y es importante para la cuantificación del color.

Amookht, Gorji y Mahdavian (2014) demostraron en un nuevo estudio que afirma que dependiendo de los pigmentos de absorción utilizados, el tamaño de las escamas de aluminio podría afectar las variaciones colorimétricas. La longitud de onda en la reflectancia de los colores medidos mostrarán que las variaciones del color presentan mayor contraste en los colores metálicos, afirmar que los pigmentos metálicos deben ser medidos en diferentes ángulos para una mayor precisión. El antecedente de los autores sirve para tomar como ejemplo de como debe realizarse la cuantificación del color automotriz.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Reproceso en determinados colores metálicos donde existe alta variabilidad entre el color del acabado y la muestra. El reproceso de las piezas pintadas provoca cuellos de botella, gasto de materiales, entregas tardías e inconformidad del cliente por incumplimiento del tiempo estipulado para la reparación.

3.1. Descripción del problema

En una empresa que se dedica a la reparación de carrocerías y pintura, en la cual se trabaja en su mayoría vehículos cuyos daños los cubre una póliza de seguro se evidencia el reproceso en el área de pintura, La variabilidad en los colores metálicos es detectada dentro de los controles de calidad que la empresa realiza, en el proceso de inspección se detecta en base a la observación, conocimientos y experiencia, si la variabilidad es aceptable o existe un contraste considerable entre los acabados y las piezas que tienen el color original, es decir, las que no han sido pintadas. La ausencia de una cuantificación de la variabilidad hace que la inspección sea un proceso empírico en el cual no se lleva un registro de los colores que tienen mayor variabilidad en un determinado tiempo.

3.2. Breve descripción de la empresa

La empresa donde se realiza la investigación lleva más de 25 años en el mercado de talleres automotrices de la ciudad de Guatemala. La empresa es miembro de la red de talleres de diversos seguros, por lo que debe ofrecer una garantía y calidad por los trabajos efectuados. La empresa cuenta con su propio laboratorio de pinturas para mantener una comunicación constante entre el pintor y el colorista.

3.3. Formulación del problema

- Pregunta central

¿Cómo una estandarización de colores en el área automotriz mejora la satisfacción del cliente?

- Preguntas auxiliares

¿Cómo se determina la variabilidad en la formulación de colores automotrices?

¿Cómo disminuir los reproceso que provoca la deficiente formulación de colores automotrices?

¿Qué ventaja tiene la utilización de métodos estadísticos en el control de calidad del proceso de formulación de colores automotrices?

3.4. Delimitación

El estudio se centra en las áreas de aplicación de pintura y laboratorio de colores del taller de enderezado y pintura, se analizará la producción de reparaciones durante un mes, se analizará la variabilidad de colores lisos y colores metálicos. Se realizaran entrevistas a los colaboradores del área, principalmente a los pintores, supervisores y coloristas, los cuales identifican la variabilidad del color dentro del proceso.

La investigación tiene como consecuencias un mayor control de los reprocesos en el área de pintura, lograr la satisfacción de cliente y a la vez la lealtad, disminución de los gastos de materiales debido a reprocesos.

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación se inserta en la línea sistemas de control de calidad específicamente en la sección control estadístico de procesos. Los cursos donde se sustenta la investigación son: metodología de la producción, debido a que se aborda el tema de control estadístico de procesos. Y el curso de ingeniería de la productividad debido a la propuesta de estandarización del color para la satisfacción del cliente.

La importancia de la investigación es debido a que la industria automotriz presenta desafíos constantemente, un porcentaje considerable de talleres de carrocerías se encuentran afiliados a compañías aseguradoras, esta alianza hace que deban cumplir ciertos procedimientos, respetar tarifas ya establecidas, cumplir con procedimientos de calidad y tiempos de reparación adecuados.

La investigación es necesaria si se desea lograr una disminución de los reprocesos en el área de pintura, la coincidencia adecuada del color es esencial para ofrecer un trabajo de calidad, determinar la variabilidad en base a instrumentos de medición y modelos matemáticos ya establecidos por la Comisión Internacional del Color (CIE) permitirá al taller de reparaciones analizar la variabilidad que consideran de forma empírica.

La motivación personal que conduce a la investigación es el gusto por innovar procesos en los talleres de pintura automotriz. Conocer más sobre tecnologías aplicadas en países desarrollados.

El principal beneficio de la estandarización de la variabilidad del color automotriz en el taller de pintura, es proponer una herramienta complementaria al procedimiento de inspección de la coincidencia del color, es indispensable la

utilización de un espectrofotómetro que permite la medición de longitudes de reflectancia del color y adicional propone fórmulas para colores que carecen de un código establecido por el fabricante de pinturas automotrices. Poder cuantificar el color es un beneficio para el taller que desea tener un control estadístico de sus procesos de formulación del color.

Los beneficiarios de investigación son aquellos talleres que buscan la mejora continua de sus procesos, y están en busca de la innovación por mínima que sea. La cuantificación de la variabilidad de color en los acabados automotrices beneficia al taller debido a que pueden verificar si el proceso está bajo control estadístico, mediante gráficos de control podrán determinar si el proceso se encuentra dentro de los límites establecidos.

5. OBJETIVOS

General

Proponer la estandarización de la formulación de colores automotrices utilizando métodos estadísticos para reducir la variabilidad del color.

Específicos

- Diagnosticar el proceso de formulación de colores en base a mediciones de las variables triestímulo de color utilizando modelos matemáticos.
- Analizar la variabilidad de colores automotrices para disminuir retrocesos en base al sistema Cielab.
- Estandarizar la variabilidad de colores automotrices por medio de métodos estadísticos.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad de estandarizar el proceso de formulación de colores automotrices se debe al uso de un procedimiento a prueba y error los cuales carecen de herramientas tecnológicas para medir la variabilidad del color. La variabilidad del color, especialmente en los colores metálicos crea un reproceso en el área de pintura. La cuantificación de la variabilidad del color es necesaria para facilitar el análisis y el control del proceso de formulación de colores, la estandarización por otra parte sirve para el control estadístico del proceso.

La necesidad de innovación del proceso de formulación de colores automotrices surge por el compromiso de brindar un mejor servicio a los clientes del taller de pintura automotriz, principalmente para cumplir con los tiempos de entrega ofrecidos, agilizar la formulación de los colores y evitar cuellos de botella en las áreas de formulación de colores y cabina de pintura. La utilización de un espectrofotómetro como instrumento de medición y modelos matemáticos para determinar la variabilidad del color es uno de los adelantos tecnológicos en los talleres de pintura de alto nivel en otras regiones del mundo. Estas herramientas ayudan a cuantificar el color, proporcionan variables que representan los atributos del color que pueden ser analizadas de forma estadística para un mejor control de los procesos.

El esquema de solución consiste en una serie de fases cuya secuencia facilitan la solución del problema, se propone utilizar modelos matemáticos para poder medir la variabilidad del color y métodos estadísticos para poder llevar un control estadístico del proceso de formulación de pintura, a continuación de detalla el esquema de solución a seguir en base a los objetivos planteados:

- Fase uno: revisión documental de la teoría necesaria para lograr una comprensión del proceso de enderezado y pintura, poniendo énfasis en la formulación de colores automotrices, métodos para cuantificar el color y modelos estadísticos para controlar la estandarización de la variabilidad.
- Fase dos: se realizará un diagnóstico del proceso de formulación de colores el cual se desarrolla de forma empírica, así como el diagnóstico del proceso de inspección que lleva a cabo el personal compuesto por coloristas, pintores y supervisores. Se efectuarán mediciones de las variables triestimulo para evidenciar el criterio de evaluación de la variabilidad.
- Fase tres: se realizará la evaluación de resultados de las muestras obtenidas de diferentes variabilidades del color, se evaluarán los resultados obtenidos de la media y desviación estándar producto de las muestras obtenidas.
- Fase cuatro: se propondrá la estandarización de colores automotrices en base a los datos cuantificados, en base a la estandarización se llevara a cabo un control estadístico de la formulación por medio de gráficos de control. Se realizará una propuesta que involucra al espectrofotómetro como herramienta de soporte en el área de formulación de colores.

7. MARCO TEÓRICO

La información recabada en el marco teórico abarca el proceso de enderezado y pintura, conceptos de colorimetría, sistemas de medición de color, y métodos estadísticos para analizar la variabilidad del color.

7.1. Proceso de enderezado y pintura

La reparación de las carrocerías automotrices es un oficio que nace con la misma incorporación de los vehículos en un mundo globalizado, es un trabajo que en principio es artesanal y que con el paso del tiempo ha sido automatizado en diversas partes del proceso para facilitar el servicio al cliente. El proceso de reparación y pintura desde la realización del presupuesto y autorización, hasta la entrega final y completa satisfacción del cliente lleva consigo operaciones diversas. Es necesario pues dar una visión general del proceso, únicamente las operaciones fundamentales de tal servicio.

7.1.1. Enderezado de carrocería

La carrocería del automóvil están constituida casi en su totalidad por aleaciones de acero, principalmente el chasis, el habitáculo y las piezas exteriores, en la actualidad el plástico ha estado presente en la carrocería de los vehículos en piezas como *bumpers*, persianas, soportes y accesorios del habitáculo.

El enderezado de la carrocería consiste en corregir las piezas del vehículo que por colisión han sido dañadas, el técnico del enderezado se especializa en dar forma nuevamente al metal. Según Deroche (1992) una colisión tiene daños colaterales que afectan diferentes partes del vehículo, por ello recomienda para

revisión profunda de daños internos que pueda tener la carrocería, es preciso que los especialistas en presupuestos realicen un análisis estructural de las posibles partes internas involucradas.

El enderezado de la carrocería consiste en corregir los pandeos que pueda tener el metal después de la colisión, si la colisión es fuerte se consideran daños colaterales en el chasis o bases de las piezas exteriores.

Según de Castro (1999) es indispensable que el análisis de la carrocería se realice utilizando diferentes herramientas de medición principalmente en las áreas del chasis que puedan haber sido afectadas indirectamente en la colisión. Para ello recomienda que el vehículo evaluado sea elevado por medio de un puente o fosa donde el evaluador puede descartar posibles ondulaciones o corrimientos en el chasis y soportes fundamentales de la carrocería.

El tamaño de la colisión determinara el procedimiento a seguir por parte del técnico de enderezado, si las piezas no tienen reparación y se opta por reemplazar las piezas, también se deben evaluar que los soportes de estas piezas estén en la posición adecuada y no hayan sufrido corrimientos.

Existen diferentes tipos de daños que pueden surgir en una colisión, es indispensable identificarlos para saber desarrollar una estrategia de reparación de la carrocería. “El tipo de pandeo formado depende de la figura y contorno de la lámina. Los cuatro tipos de pandeo son el de bisagra simple, el de bisagra hundido, el de arrodillado sencillo, y el de arrodillado hundido” (Deroche, 1992, p. 90)

Para enderezar las carrocerías el taller de reparaciones cuenta con herramienta que facilita el trabajo de enderezado, el equipo con el que cuenta un

taller determinara la calidad del trabajo y la rapidez con la que el taller realice la reparación. Las herramientas de enderezado de carrocería van de las más simples (martillos livianos y grandes, pequeños yunques y pulidoras para el remover pintura). Es común el uso de soldadura ya sea para calentar o unir dos piezas de metal; soldadura oxiacetilénica, soldadura MIG, soldadura eléctrica. Entre el equipo sofisticado es frecuente encontrar en los taller; puentes donde el vehículo es anclado y se realiza la corrección del chasis, extractores eléctricos que facilitan el desabollado de golpes leves, tensores y equipo hidráulico o neumático con los que se ejercen fuerzas de tensión o compresión según sea necesario.

Las partes dañadas de la carrocería (metales rígidos y plásticos), tienden a manifestar resistencia a ser restaurados, lo cual es normal, por lo que el taller debe estar provisto del equipo necesario. Al enderezar áreas dañadas se suelen requerir muchas mordazas y tracciones múltiples. “Las áreas dañadas directamente ofrecen mayor resistencia a las fuerzas de alineación que los paneles adyacentes a ellas” (Deroche, 1992, p. 94)

7.1.2. Preparado de carrocería

Todas las piezas que has sido enderezadas o cuando se realiza un remplazo de pieza la cual lleva pintura, llevan una preparación que consiste en la aplicación de materiales de relleno que permiten obtener superficies uniformes y lisas al tacto, que se logran dando forma a estos materiales de relleno, esto se consigue por la operación de lijado con materiales abrasivos.

Por medio de discos de lija o pliegos de lija que se usan de diferentes medidas de granos, se logra afinar el material de relleno. Es necesario que este material de relleno sea únicamente para tapar pequeños poros de las piezas

enderezadas. El exceso de masilla en una reparación no garantiza la calidad del trabajo ya que la masilla no es resistente como el metal y es probable que la adherencia no sea la correcta.

Es importante mencionar que las piezas que son remplazadas no llevan material de relleno (masilla) únicamente un imprimador que en los talleres es conocido como fondo, el fondo en las piezas nuevas al igual que las piezas reparadas se lija con abrasivos de grano fino de tal manera que la superficie queda lisa al tacto y sin poros.

Según Deroche (1992) existe un mal concepto de que una lija gruesa hará el trabajo más rápido; en consecuencia se suele usar lijas que son demasiado gruesas. Donde un resultado deficiente, como marcas de rasguños del abrasivo en el acabado, resultan de usar un papel demasiado grueso.

En algunos manuales es común que se nombre a los imprimadores como aparejos, el aparejo se aplica con pistolas pulverizadoras y son fabricados en colores grises, negros y blancos, dependiendo las necesidades del pintor, ya que posterior al aparejo, previamente lijado, se aplica la capa de pintura o capas de pintura según el sistema de pintura que se utilice.

Según Deroche (1992) el aparejo o fondo es un material de relleno que elimina pequeñas imperfecciones de la operación de lijado, este material tiene una alta concentración de sólidos que permiten la adherencia entre los materiales de relleno y la pintura aplicada, logrando de este modo armonía entre sustancias químicas que puedan tener dichos materiales.

En el preparado de piezas, el lijado de la masilla o del imprimador o aparejo se puede realizar con agua o en seco, para cada uno de estos métodos existen lijas exclusivas para el lijado con agua y lijas exclusivas para el lijado en seco.

Se recomienda el sistema de lijado en seco ya que evita la posibilidad de oxidación futura de las piezas reparadas o reemplazadas. Para realizar el lijado en seco los técnicos deben contar con equipo de protección adecuado, principalmente mascarillas para no inhalar el polvo que resulta de lijar la masilla o aparejo, ya que contienen una cantidad considerable de químicos. Se debe usar en todo tiempo la protección aprobada para la respiración.

7.1.3. Pintura de carrocería

Una vez preparadas las piezas previamente enderezadas o sustituidas si se trata de un cambio por una pieza nueva, se lleva a la parte del proceso de la aplicación de la pintura, los procesos anteriores enderezado y preparado han servido para corregir cualquier imperfección de las piezas. La operación de pintura consiste en aplicar el color y brillo por medio de materiales que son básicamente esmaltes.

La pintura es aplicada con pistolas pulverizadoras que se encuentran en el mercado de diferentes marcas y características. Para la aplicación de pintura los talleres cuentan con cabinas diseñadas para tal propósito, algunas provistas con quemadores que aceleran el secado de la pintura y también extractores que retiran pequeñas partículas que puedan existir en el ambiente.

Según, de Castro (1999) la pintura es un material con alto poder cubriente que contiene materiales sólidos en forma líquida y pastosa que tienen la característica de ser insolubles, además consta de pigmentos que proporcionan

el color y aglutinantes que mantienen la unión de los componentes y su fácil aplicación.

La pintura de la carrocería es sin duda la primera impresión que da el trabajo de enderezado y pintura, ya que es la última etapa del proceso y en el acabado de la pintura se aprecian muchas de las características de un buen trabajo de reparación de carrocerías. Las operaciones anteriores de enderezado y preparado también determinaran si el acabado de la pintura es de calidad. Si se obtienen superficies uniformas, sin rayones, y contornos simétricos darán una buena impresión a la vista que se complementan con el color y el brillo que dan como resultado un buen servicio de enderezado y pintura.

Según de Castro (1999) en el trabajo de enderezado y pintura existe un momento en que la función del enderezador y del pintor se funden, por lo que es preciso que ambos colaboradores trabajen en estrecha relación para conseguir que trabajo que supere las expectativas del cliente.

El ojo de pescado es un término utilizado en los talleres de reparación, esta imperfección se debe a la acumulación de grasa en las superficies a pintar, por lo que es recomendable la utilización de desengrasantes para mantener las superficies libres de impurezas.

Según Deroche (1992) las grasas y silicones quedan adheridas a las superficies y son las causantes de las imperfecciones en la pintura.

Un pintor automotriz debe conocer técnicas para aplicar diferentes colores de pintura. En la aplicación de colores perlados o metalizados se requieren técnicas precisas que darán un acabado de calidad. Algunos aspectos que considera el pintor son los siguientes; velocidad de aplicación de la pintura,

distancia entre la superficie y el abanico de la pistola, presión de aire en la salida de la pistola, tamaño del abanico.

Según Deroche (1992) la aplicación de pintura perlada es un proceso complejo comparado con un color liso. Por lo que recomienda una técnica de aplicación adecuada, mezclado y dilución precisas de la pintura, y un amplio conocimiento del uso de la pistola pulverizadora.

7.1.4. Control de calidad del acabado

Un acabado de calidad es la suma de un control adecuado de todas las operaciones del proceso de enderezado y pintura. Para obtener un buen acabado en el proceso de enderezado y pintura la supervisión de cada uno de las operaciones que lo conforman es indispensable.

La calidad del acabado es relacionado con el brillo final de la superficie pintada, el grosor de la película de pintura y materiales de emparejamiento e imprimadores es una característica de un buen trabajo de pintura. Un grosor adecuado de todos los materiales utilizados después del enderezado permite que la pintura sea más flexible y se adecue mejor a las superficies.

El color del acabado final es uno de los aspectos a considerar en el control de calidad del trabajo, ofrecer un color que no presente contraste entre las piezas pintadas y las que no han sido reparadas es indispensable, para ello el taller de reparaciones utiliza diferentes técnicas, una de ellas es la difuminación de la nueva pintura que se aplica, logrando con ello un emparejamiento del color.

Según González (2014) el acabado de la pintura es la característica que los clientes percibirán como un trabajo de calidad. Por ello es necesario contar con

instrumentos de medición que ayuden a cuantificar la calidad del trabajo de enderezado y pintura.

La calidad del trabajo de enderezado y pintura el cliente la percibe en las características que presenta el acabado final de la pintura, la textura debe ser adecuada, el poro que presenta la pintura debe ser similar al acabado que se realiza en la fábrica de vehículos.

Un brillo adecuado es sinónimo de un buen acabado, al igual que la adherencia de la pintura. La adherencia es una característica que se evidencia cuando la carrocería ya está en movimiento y bajo las vibraciones normales de funcionamiento del vehículo. Una buena adherencia es resistente a cualquier vibración de la carrocería incluso pequeños choques con piedras diminutas que la pintura pueda tener cuando el vehículo está en marcha.

Según de Castro (1999) las capas de pintura que se aplican tienen un espesor concreto que debe respetarse, ya sea al pintar una carrocería totalmente o al realizar una reparación parcial de la carrocería. En este último caso, el espesor debe ser igual al espesor de las piezas originales del vehículo. Los espesores de las pinturas se miden en micras. Los espesores de las capas de pintura deben tener un promedio de 20 o 30 micras.

Para las reparaciones de piezas compuestas por polímeros es necesario la utilización de flexibilizaste como tratamiento previo a la aplicación de fondo. Las piezas plásticas al ser más flexibles de las piezas metálicas deben llevar otro tratamiento, el uso de flexibilizaste previo al pintado es indispensable.

Las piezas plásticas tienden a presentar contraste con las piezas metálicas en cuanto al color, por lo que los talleres prevén este contraste realizando

diferentes pruebas previas a la aplicación del color. Los talleres de pintura que tienen controles de calidad en sus operaciones de reparación, tienen la facilidad de ofrecer una garantía por los trabajos efectuados.

Según González (2014) el pintado de las partes plásticas no difiere al pintado de las piezas metálicas, con una diferencia, debemos garantizar que el primer o imprimador se adhiera al plástico. Los plásticos tienen propiedades diferentes al metal por lo que la adherencia de la pintura no es la misma. Además una vez acabado el proceso de enderezado y pintura debemos comprobar, que el color de las partes metálicas y plásticas no tenga demasiado contraste.

7.2. Colorimetría

El estudio del color es importante para los talleres de enderezado y pintura, el color determina si la reparación es aceptable y puede entregarse al cliente o es necesario realizar un reproceso porque el color no coincide.

7.2.1. Colorimetría en pintura automotriz

Realizar un color automotriz adecuado es a menudo un procedimiento a prueba y error, el colorista debe mezclar tintes de colores primarios y sabe cuál será el resultado, la experiencia los lleva a igualar una muestra de pintura original con una pintura recién formulada.

Es frecuente creer que los colores automotrices ya vienen preparados para su aplicación y también creer que el fabricante de vehículos distribuye los colores ya preparados.

El tono de la pintura cambia constantemente porque los vehículos presentan decoloración al estar expuestos a las condiciones climáticas, especialmente al recibir los rayos ultravioleta.

El fabricante de vehículos crea alianzas estratégicas con fabricantes de pintura automotriz, esta alianza les permite crear colores exclusivos para los nuevos modelos, son los fabricantes de pintura automotriz quienes comercializan las pinturas y todos los materiales para su aplicación, o en dado caso venden lotes de toners para que el taller de enderezado y pintura pueda crear los diferentes colores que necesita aplicar.

Según de Castro (1999) la colorimetría se define, como las técnicas y conocimientos aplicados para determinar el tono de un color. Afirma que en las reparaciones parciales de pintura es importante para el pintor coincidir una mezcla que de exactamente con el tono que la pintura original, de otro modo el resultado de la reparación de enderezado y pintura no será el esperado, ya que la pieza pintada se destacara de los restantes que no fueron pintadas.

La colorimetría automotriz se relaciona en gran medida con los pigmentos, los pigmentos al igual de los colorantes son la base del color automotriz, la mezcla de ellos determina el matiz, claridad e intensidad del color.

Según Streitberger y Dossel (2008) los pigmentos se usan para dar color al automóvil. Los colorantes solubles también podrían usarse pero su solidez a la luz generalmente no es suficiente para aplicaciones automotrices. Un pigmento se define como cualquier sólido de color (por ejemplo: negro, blanco o fluorescente), que es insoluble (no se ve afectado) por el vehículo en el que está incorporado. Un pigmento mantiene sus cualidades cristalinas durante el proceso

de coloración. Alterará la apariencia de un objeto mediante la absorción selectiva y / o la dispersión de la luz.

Los pigmentos pueden estar constituidos de forma natural o por medios químicos, esto depende del fabricante de pinturas automotrices. En el mercado automotriz existen cada vez más marcas de pintura automotriz.

La experiencia del colorista hace que pueda trabajar con diferentes marcas de pintura automotriz y pueda conseguir mezclas de tonos que coincidan con la pintura original.

Según de Castro (1999) los pigmentos son indispensables para formar la base del color. Los pigmentos pueden ser de origen natural, es decir, inorgánicos, y de origen artificial, es decir, sintéticos. Los de origen natural son derivados de compuestos como: cobalto, minerales de hierro, cobre, cromo, titanio, entre otros. Los pigmentos artificiales se obtienen mediante tratamiento químico. Los pigmentos tienen la propiedad de mantener siempre el mismo color. Son además, insolubles, es decir, no se disuelven cuando se mezclan con otros elementos químicos.

Para los coloristas automotrices la luz solar es indispensable para determinar si el color mezclado coincide con la muestra. Si no se cuenta con la iluminación adecuada o con la luz de un día soleado es probable que no se consiga la coincidencia deseada del color.

7.2.2. Códigos de color en la industria automotriz

Los fabricantes de color automotriz establecen un código de color para cada diseño de pintura, este código contiene la información necesaria para mezclar los colores y obtener el color original del vehículo. El colorista debe realizar diferentes variaciones del color obtenidas por medio del código hasta dar con el color que presenta actualmente el vehículo.

La información del código contiene las cantidades en gramos a mezclar de cada tóner o color, y cantidad en gramos de perlas si es un color policromado.

Según Deroche (1992) la innovación en los procesos es vital para la formulación de colores, los avances en la industria del color crean nuevos retos para los talleres de reparación, es indispensable contar con herramientas tecnológicas y softwares que faciliten la formulación de los colores. Afirma que los colores metálicos tienden a dificultar la igualación del color, es necesario apoyarse en herramientas de medición para garantizar la igualación y la satisfacción del cliente.

El colorista realiza pequeñas muestras las cuales se comparan con la pintura original, mediante observaciones en diferentes ángulos y con la luz adecuada. El colorista determina si las muestras coinciden o es necesario hacer variaciones en la mezcla, para realizar las variaciones el colorista posee ciertos conocimientos de las dimensiones de un color; luminosidad; es decir, si el color es más claro o más oscuro; matiz o tono, es decir, si el color es más verde o rojo; y la saturación, es decir, la pureza de la concentración del color.

Según Deroche (1992) todos los colores se derivan de los colores primarios, un pintor experimentado conoce de los cambios de tono del color, el pintor

conoce además de las propiedades del color. Saber distinguir si un color refleja o absorbe luz es indispensable para los pintores, conocer las propiedades de cada color facilitara la técnica que utilicen, incluso la igualación del color logrando así la disminución de reprocesos.

Además de la base de datos con la que cuenta un colorista, con el que puede saber las cantidades de tintes y perlas que componen cada color, algunos fabricantes de pintura automotriz cuentan con plantillas pintadas con las cuales el colorista puede comparar la platilla directamente con la pintura original y usar la información que posee la plantilla, este método es empleado cuando no se tienen el código del color o en la base de datos no se encuentra la formulación para determinado código.

Según de Castro (1999) el método de platillas es menos preciso. Las casas fabricantes de pintura diseñan estas platillas para la elección del color y suelen editar unos catálogos donde están referenciados todos los colores que se fabrican. Estos catálogos de plantillas de colores se pueden contrastar directamente sobre la pintura de la carrocería y el pintor debe saber decidir el color y tono real que le pertenece. La utilización de una pintura de la misma marca a la pintura de origen mejora el resultado y hace más fácil la aplicación y la coincidencia del color.

7.2.3. Componentes de la pintura automotriz

La pintura automotriz está constituida de diversos materiales que proporcionan las características adecuadas que hacen que la carrocería sea resistente a diferentes condiciones climáticas.

El servicio de enderezado y pintura se considera un mantenimiento preventivo cuando la vida útil de la pintura de fábrica se deteriora y hay que reemplazarla por una nueva, esto ayudara a seguir prolongando la vida útil de la carrocería, por otro lado se considera un mantenimiento correctivo cuando el vehículo ha sido colisionado y es necesario hacer un trabajo de reparación y pintura de carrocería.

La pintura automotriz tiene la función de cubrimiento anticorrosivo y también cuanta con propiedades que la proporcionan dureza, la dureza es indispensable para soportar rasguños por contacto leve con otras superficies, la dureza permite que la pintura resista determinados golpes diminutos de piedras, principalmente la parte frontal que es la que está más expuesta al rebote de piedras cuando el vehículo está en marcha.

Según Vázquez (2008) el fenómeno de la corrosión es un fenómeno que perjudica los productos metálicos en las industrias debido a la naturaleza con la que actúa. Menciona que este proceso de degradación es irremediable, pero puede aminorarse mediante el uso adecuado de recubrimientos y productos de protección anticorrosiva, que se seleccionan de acuerdo a las características del problema.

La pintura automotriz contiene los componentes básicos de cualquier otra pintura, cuanta con pigmentos que mantienen el color de la superficie, bases o resinas que permite que las partículas se mantengan unidas, y disolventes que permiten que la pintura tenga la viscosidad adecuada para ser aplicada con pistola pulverizadora.

Según Vazquez (2008) un recubrimiento es una mezcla homogénea de partículas en una base o resina que se expande gracias a un disolvente, las

partículas de acuerdo a sus propiedades aportan diversos beneficios como pudieran ser efectos anticorrosivos, antiespumantes, fungicidas, entre otros. Al evaporarse el disolvente, se solidifica la base y se crea una capa o película por lo regular homogénea según la técnica de aplicación; dicha capa protege en área aplicada, la aísla, es impermeable, posee buena adherencia y en varios casos es flexible.

La adherencia es una propiedad importante en la pintura automotriz, una buena adherencia de la pintura con el metal o plástico prolongara la vida útil de la pintura. La flexibilidad de la pintura permite que la pintura se moldee a los movimientos que pueda tener la carrocería, principalmente las partes plásticas donde las propagan fácilmente las vibraciones que pueda tener la carrocería.

Las pinturas y recubrimientos están constituidos por las siguientes partes: “ligante (aglomera los demás componentes y crea una película), disolvente (reduce la viscosidad y ayuda en la aplicación), pigmentos (otorgan generalmente color) y aditivos (proporcionan características muy especiales, por ejemplo efectos fungicidas, ignífugas, entre otros.)” (Vazquez, 2008, p. 5).

7.2.4. Sistemas de pintura automotriz

En la industria automotriz existen diferentes sistemas de pintura, los fabricantes de pintura, establecen diferentes sistemas de acuerdo a las necesidades del pintor y tipo de color que se esté aplicando.

Los colores lisos, es decir, colores que no tienen perlas o partículas metalizadas, no presentan mucha complejidad para el pintor, para este tipo de colores los fabricantes han creado un sistema denominado mono-capa. En el

sistema mono-capa la pintura ya cuenta con el brillo necesario para lograr el acabado semejante al original.

Cuando se trabajan colores metalizados o policromados, el fabricante ha creado un sistema denominado bicapa, en este sistema la pintura lleva todos los pigmentos y tintes necesarios para mantener el color y adicional se aplica una capa de transparente o barniz el cual es el que da brillo a la superficie. Con este sistema el pintor debe utilizar diferentes técnicas en la aplicación de la pintura policromada, modificar la distancia de aplicación de la pintura, aplicarla en forma de brisa si es necesario, y por ultimo aplicar la capa de transparente la cual se encargara de dar el brillo final a la carrocería

Según de Castro (1999) no solo se debe conocer la naturaleza química de las pinturas también es importante reconocer el sistema de pintura, es decir, mono-capa o bicapa, para ello recomienda lijar con lija grano 1200, la superficie ligeramente y si la carrocería es, por ejemplo, de color azul y vemos que se desprende un polvillo de este mismo color podemos tener la seguridad de que se trata de un mono-capa. Sin embargo, si al realizar este mismo procedimiento podemos observar la presencia de un polvillo blanco (aun siendo el automóvil del mismo color puesto de ejemplo, es decir, de color azul) nos daría a entender que se trata de un bicapa porque lo que estamos retirando es el barniz de protección propio de la carrocerías pintadas con la técnica bicapa.

Los sistemas de pintura automotriz, a su vez se dividen en diferentes tipos de pintura, entre ellos encontramos, pinturas de esmalte sintético, utilizadas por lo general en vehículos clásicos; pinturas de esmalte acrílico, muy presentes en el mercado por su costo bajo; y pinturas de esmalte de poliuretano, estas últimas tienden a ser las más utilizadas en las fábricas de automóviles.

Según Deroche (1992) las pinturas de poliuretano, tiene la propiedad de un secado rápido, proporcionan un mejor brillo, tienen mayor dureza lo que permite la disminución de rayones por colisión de pequeñas piedras en el desplazamiento del vehículo, crean superficies más lisas me permiten el fácil mantenimiento y limpieza.

En todos los sistemas de pintura el fabricante recomienda realizar la limpieza y protección de la pintura, para ello se utilizan diferentes pastas y ceras que mantienen el brillo original y reducen la acumulación de sarro provocado por las gotas de agua que se dejan secar en la pintura.

En el mercado existen diferentes productos tales como: pastas para pulir, ceras para lustrar, y últimamente también se encuentran recubrimientos de porcelana que protegen por más tiempo la pintura, por su costo de aplicación por lo regular lo aplican a vehículos de lujo o de modelos recientes.

Según Deroche (1992) el objetivo de pulir y lustrar es múltiple. Remueve la acumulación de sarro en la pintura, disminuye rayones leves que pueda tener la carrocería, crear superficies más lisas que impiden la acumulación de suciedad en la superficie. Crea una apariencia agradable de la percepción del color de la pintura. Mantiene la durabilidad de la misma.

7.3. Medición del color

Para saber con exactitud como varia un color recién pintado con una muestra original de deben conocer ciertos atributos de color. Según Viqueira, de Fez y Martínez (2010) tendemos a pensar que la visión del color no es un factor relevante. Gran parte de la información procesada en el día a día se basa en el color, por ejemplo: Señales de tráfico, publicidad, diseño gráfico, internet, entre

otros. Menciona que, no solo las personas que tienen dificultades para ver en color no estarán calificadas para ciertos trabajos, sino que también podría significar que no reconocen adecuadamente la información que los rodea en su vida normal.

7.3.1. Fundamentos del color

El ojo detecta el color e imágenes por medio de la retina, por medio de detectores fotosensibles de la retina se envía la información al cerebro donde se procesa dando como resultado la percepción que tenemos del color.

Según Viqueira et al. (2010) El sistema visual es la parte del cerebro que nos hace ver. El sistema visual lo hace interpretando la información de la luz disponible para construir una representación del mundo exterior. El proceso comienza cuando la luz pasa a través de los elementos transparentes del ojo y golpea la retina. Todos los elementos involucrados antes de la retina forman el sistema óptico (ópticamente, el ojo consiste en una serie de superficies refractivas definidas por transiciones entre el aire, los fluidos y los tejidos sólidos).

La reflexión es un proceso físico por el cual la luz se propaga y encuentra un su recorrido un objeto donde reflejarse, en la industria del color automotriz la reflexión es indispensable para percibir el color que deseamos obtener mediante la formulación.

Según Viqueira et al. (2010) Los estímulos cromáticos son diversos en todas las escenas que percibimos, y el sistema visual capta con facilidad dicha información, la longitud de onda juega un papel importante para la diferenciación del color. El color, por lo tanto, es algo interno. El color es percepción. El estímulo cromático es radiación electromagnética de fuentes y objetos que golpea el

sistema óptico y desencadena el proceso visual. El color percibido, por lo tanto, es una sensación producida por el estímulo cromático que permite diferenciar ese estímulo de otros con la misma área, duración, forma y textura.

En los talleres de reparación es común verificar por medio de muestras la variabilidad de color automotriz, los coloristas desarrollan la habilidad para detectar que muestra es la que mejor coincide con el color original, el colorista sabe diferencias entre tonos y saturación del color, al igual que analiza la luminosidad de los colores, los talleres carecen de un medio para cuantificar y expresar de forma numérica esta variación.

Es viable asignar números a las características del color para poder ser analizados y comparados en base a la afirmación “para la caracterización básica del color se necesitan tres factores: el iluminante, el objeto a ser iluminado y un observador (foto sensor), el cual convierte la señal detectada en una respuesta que el cerebro humano reconoce como color.” (Fuster, 2009, p. 1).

Para medir el color fueron desarrollados métodos desde principios del siglo XX, Una de pioneras fue la de Munsell, la cual proponía utilizar determinado número de tarjetas de diferentes colores las cuales se clasificaban de acuerdo a la saturación, tono y luminosidad. En la actualidad la medición del color se base en la reflectancia espectral de la muestra.

Según Viqueira et al. (2010) Las diferencias de color son de enorme importancia en la industria. Comprender el grado de tolerancia del sistema visual humano a las diferencias de color es fundamental para conocer el error máximo tolerable al formular una pintura o imprimir una tela. El aspecto más importante no es, de hecho, las diferencias de los diversos componentes del color (matiz, colorido y luminosidad), sino las diferencias perceptivas del color en su conjunto.

7.3.2. Atributos de color

El color se mide en base a tres atributos: saturación, luminosidad y tono. El tono se refiere a determinar el color de un objeto, es decir: rojo, amarillo azul, y la variaciones de puedan haber entre ellos. La luminosidad se refiere, a la intensidad lumínica o grado de claridad de un objeto. Y la saturación describe lo llamativo o pagado de un color.

Según Viqueira et al. (2010) El color es trivariante, lo que significa que en un estímulo de color aislado, podemos distinguir tres cualidades separadas: tono, brillo y saturación. Cuando se estudia un color relacionado, es decir, uno que forma parte de una escena, los descriptores se refieren al entorno y, por lo tanto, se habla de matiz, luminosidad y colorido. Del mismo modo, cualquier color se define por medio de tres variables físicas que corresponden a estas tres variables perceptivas: longitud de onda al tono, luminancia al brillo y pureza colorimétrica a la saturación.

La forma de representar gráficamente estos atributos es por medio de solidos tridimensionales, el tono se representa por medio de ángulos dentro de una esfera, la luminosidad se representa en el eje vertical de la esfera y por último la saturación se representa por medio de radios en el eje horizontal de la esfera.

Existen afirmaciones que sugieren métodos para la medición del color “un espacio de diferencias de color es un espacio de tres dimensiones con un espacio visual aproximadamente uniforme en términos de diferencias de color” (Fuster, 2009, p. 1).

7.3.3. Coordenadas cromáticas

Las coordenadas cromáticas son las que se localizan en el plano X, Y, en el sistema Cielab, es un plano de dos dimensiones donde se excluye la luminosidad. Estas coordenadas establecen que el color se mueve entre una escala entre verde y rojo para un eje, y en una escala entre amarillo y azul para otro eje.

Según Gupte (2010) el sistema CIE especificó el color de forma numérica logrando así su principal objetivo. Ayudo a eliminar la subjetividad con la que se evaluaba la variación del color. El desarrollo de valores triestímulo X, Y y Z con base a la reflectancia del color sirvió como base para los cálculos colorimétricos. Los iluminantes estandarizados de la CIE en términos de temperatura de color, distribución de potencia espectral y coordenadas de cromaticidad fueron útiles no solo en el cálculo de los valores del triestímulo, sino también en la evaluación visual. El desarrollo del observador estándar fue uno de los logros significativos y es el parámetro básico para el cálculo del triestímulo.

El sistema de coordenadas es uno de los primeros sistemas propuestos por la CIE en 1931, el sistema propone la caracterización de los atributos del color en forma de coordenadas, tiene un uso limitado debido a que no corresponde de manera exacta a los atributos del color.

Según Gupte (2010) otra limitación importante del sistema CIExyz es su falta de uniformidad. Diferencias numéricas similares en diferentes áreas de la región visible aparecen de manera diferente cuando se evalúa visualmente. Por ejemplo, las mismas diferencias de magnitud en X, Y, Z (ΔX , ΔY y ΔZ) o en las coordenadas de cromaticidad (Δx , Δy y Δz) en un par verde y un par rojo o azul aparecerán de manera diferente. En el caso del par verde, la diferencia puede

aceptarse visualmente, pero para la misma diferencia en los pares rojo o azul, la muestra puede no aceptarse. Esto crea una falta de uniformidad de la medición del sistema CIE. Este sistema no involucra el tono y croma, que son parámetros importantes, aunque la longitud de onda y pureza reflejadas especifican el tono y croma indirectamente.

7.3.4. Instrumentos de medición

El espectrofotómetro es sin duda el instrumento de medición de color más exacto, estos instrumentos tiene la capacidad de medir la luz reflejada por los vehículos desde diferentes puntos, dando como resultado una curva de color para cada color medido, que facilita la formulación en los colores automotrices.

Los fabricantes de autos realizan cada vez más innovaciones en el color, utilizando variantes en los pigmentos, con lo cual crean colores que se deben medir a diferentes ángulos para lograr una formulación correcta. Se afirma que “los espectrofotómetros son instrumentos que miden la reflectancia o la transmitancia de materiales en función de la longitud de onda” (Fuster, 2009, p. 23).

Los colorímetros por su parte también es un instrumento muy utilizado para la medición del color, son dispositivos triestímulares, que usan filtros; rojo, azul y verde, para caracterizar la visión del ojo humano, tienen menor costo que los espectrofotómetros, pero son menos precisos, los colorímetros no registran la reflectancia espectral por lo que carecen de precisión para el análisis de datos. Además cada mencionar que “los colorímetros son instrumentos que directamente miden los valores triestímulo CIE-XYZ y por ende las coordenadas cromáticas CIE-XY, Cielab, etc.” (Fuster, 2009, p.7). Los colorímetros presentan problemas de exactitud en cuanto a la medición del color en los autos. Es una

herramienta utilizada a menudo en imprentas y en las especialidades odontológicas.

7.4. Sistemas de medición de color

La medición del color para los talleres de carrocerías representa un reto si se desea alcanzar la calidad esperada por los clientes, la utilización de herramientas de cuantificación de color permite al taller realizar un ajuste en sus procesos, evidenciar de forma numérica la correcta formulación de los colores garantiza al taller la calidad del trabajo.

7.4.1. Comisión Internacional de la Iluminación (CIE)

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), ha desarrollado desde 1931 diversos sistemas que facilitan la cuantificación del color. Es en 1976 cuando la CIE crea el sistema LAB, logrando la medición de colores que permiten reducir la variabilidad en diversas formulaciones del color.

Según Gupte (2009) la CIE es una comisión internacional originalmente con sede en Francia, pero ahora con sede en Viena. En 1913 asumió las funciones de la Comisión Internacional de Fotometría (Comisión Internacional de Fotometría) y estableció estándares y procedimientos de medición para su uso en color y apariencia. Estandarizó fuentes de luz / iluminantes, respuesta del observador al color y también geometría para espectrofotómetros de reflectancia.

La CIE regulo la percepción del observador estándar en 1931 y 1964, basándose en respuestas del ojo humano promedio a las longitudes de onda de la luz.

Gupte (2010) menciona que el sistema CIE especificó el color en términos numéricos, que era uno de los principales objetivos de la CIE. Ayudó a eliminar la subjetividad en la evaluación del color. El cálculo de los valores de triestímulo X, Y y Z a partir de la medición de la reflectancia formó la base de todos los cálculos colorimétricos. Los iluminantes estandarizados de la CIE en términos de temperatura de color, distribución de potencia espectral y coordenadas de cromaticidad fueron útiles no solo en el cálculo de los valores del triestímulo, sino también en la evaluación visual. El desarrollo del observador estándar fue uno de los logros importantes y es el parámetro básico para el cálculo del triestímulo. El CIE también estandarizó las condiciones de iluminación y visualización para espectrofotómetros.

7.4.2. Sistema Cielab

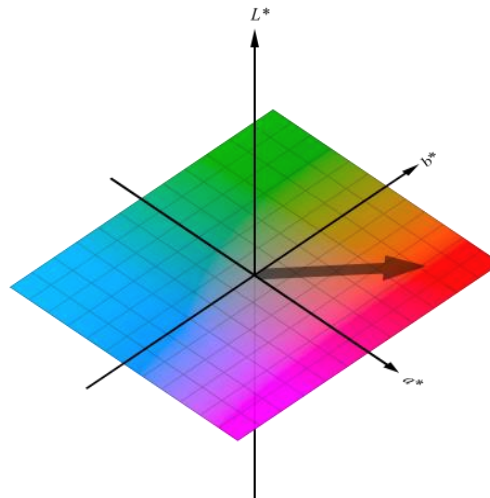
El sistema Cielab es de los sistemas más conocidos y utilizados para la medición del color de autos. Es un sistema que transforma las mediciones de diferentes atributos del color a valores numéricos. Contiene las siglas de la comisión internacional del color (CIE) y las siglas LAB, representan las coordenadas que son medidas con este sistema. L^* representa la luminosidad que pueda tener un color, a^* representa la coordenada rojo/verde, y b^* representa la coordenada amarillo/azul. El sistema LAB, se basa en la afirmación de que un color no puede estar representado por dos colores a la vez, es decir, no puede representar dos colores al mismo tiempo, el sistema se representa en base a coordenadas en el eje X y Y, en el eje x el desplazamiento del color va del rojo al verde y en el eje y en desplazamiento del color va del amarillo al azul.

Gangakhedkar (2010) hace referencencia al espacio de color uniforme CIE 1976 (CIE 1976) y afirma que es una versión simplificada del espacio Adams

Nickerson. Y se consigue trazando en coordenadas rectangulares, las cantidades L^* , a^* , b^* .

En la figura 1 se puede observar las coordenadas cromáticas (a, b) y la luminosidad L.

Figura 1. **Coordenadas cromáticas**



Fuente: Wikimedia commons. (2014). $L^*a^*b^*$ CIE 1976.

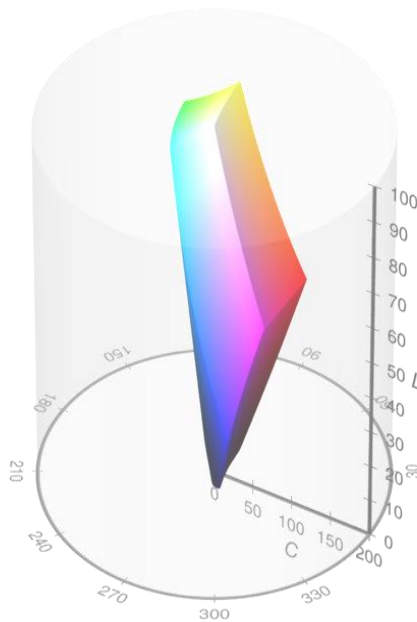
7.4.3. Sistema Cielch

El sistema Cielch es muy utilizado por profesionales del color, es un sistema que se relaciona en gran medida con la forma en que el ojo humano percibe el color. El diagrama utilizado es el mismo del sistema Cielab, con la diferencia que utiliza coordenadas cilíndricas y el sistema Cielab utiliza coordenadas rectangulares. En el sistema Cielab las siglas CIE corresponden a la Comisión Internacional de la Luz y color, la variable L describe la luminosidad que pueda tener el objeto, la variable C^* describe el nivel de saturación del color, y la variable h^* presenta el ángulo de tono o matiz.

Según Gangakhedkar (2010) la luminosidad es una de las coordenadas medidas en este sistema, además del tono y croma, este sistema se identifica en el eje z con la medición de la luminosidad, el croma métrico es un desplazamiento del centro del plano hacia la superficie exterior de la esfera, y el tono es un ángulo métrico de la circunferencia de la esfera, existe una equivalencia con el sistema LAB, que permite la equivalencia de los 2 métodos. sin duda el sistema Cielab es de los más utilizados para la medición del color en automóviles.

En la figura 2, se observa una representación gráfica del sistema Cielch. La cuantificación del color en coordenadas cilíndricas hace la diferencia en comparación con el sistema Cielab.

Figura 2. **Sistema Cielch**



Fuente: Wikimedia commons (2017). *Representación cilíndrica: Cielch.*

7.4.4. Variabilidad de color

La variabilidad entre el color original y el estándar permitido para que el color se considere aceptable se basa en las diferencias en las coordenadas absolutas de color. La variabilidad se refiere a la cómo se comporta un conjunto de datos, la variabilidad describe cómo varían los datos y el valor numérico permite usar estadísticas.

Las tolerancias dentro del análisis de variables es indispensable conocer si estamos dentro de los límites aceptables, según Gangakhedkar (2010), los límites de tolerancia son diferentes para diferentes aplicaciones. Tenemos que tener límites aceptables para cada producto o decidir el límite de perceptibilidad del ser humano. Para aplicaciones industriales, debemos optar por límites aceptables para la diferencia de color. Podemos optar por el paso de sombra de un solo número (DE) o límites de tolerancia tridimensionales basados en el espacio de color LAB, LCH. La tolerancia del color es una desviación permitida entre el color y la muestra estandar y se puede expresar en terminos de dimensiones del espacio de color (DE) (CIE 1995). En la tolerancia de color Cielab, utilizamos tolerancias de color tridimensionales: ΔL luminosidad, Δa (Rojo / Verde) y Δb (Amarillo / Azul). Es posible que no tengamos límites de tolerancia uniformes para todos los parámetros.

7.5. Modelos matemáticos

Según Bocco (2010) los modelos matemáticos nos ayudan a representar muestra realidad de forma simplificada y de diferentes formas, los modelos matemáticos nos ayudan a comprender el comportamiento de fenómenos cotidianos y procesos.

7.5.1. Modelado y simulaciones

Los Modelos nos permiten entender un sistema de variables, así como, la estructura y comportamiento con respecto al medio de lo rodea, “los modelos constituyen la base para estudiar y entender problemas de muchas áreas: economía, ingeniería, medicina, química, física, psicología, entre otros.” (Bacco, 2010, p. 8).

Para Maldonado (2013) la construcción de modelos matemáticos es una manera de resolver problemas complejos en la ciencia contemporánea, por medio de la matemática se generan interrelaciones con otras disciplinas y se relacionan con diferentes temas de la sociedad. La ciencia contribuye a la creación de modelos que permiten comprender y analizar en entorno que nos rodea y participar en la mejora procesos.

La simulación es experimentar en base a un modelo que representas ciertas variables de un proceso, esto permite trabajar bajo condiciones similares a las de la realidad. Maldonado (2013) sugiere que, “una de las ventajas del uso de simulaciones computacionales es que permiten obtener resultados de utilidad en la caracterización del comportamiento de fenómenos, objetos y procesos del mundo real” (p. 35).

7.5.2. Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos permiten llevar el control de variables cuantitativas y cualitativas, mediante técnicas de recolección de datos, representación y análisis.

Según Gutiérrez (2010) “el objetivo básico de las cartas de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Esto permitirá distinguir la variación por causas comunes de las debidas a causas especiales, lo que ayudara a caracterizar el funcionamiento del proceso” (p. 10).

En un gráfico de control el equipo de calidad del taller de pintura tiene la posibilidad de evaluar el resultado del proceso de formulación de colores, y corregir fallos comunes en la operación, “lo que se observa en una gráfica de control no sólo es que el punto caiga fuera de los límites de control, sino también cualquier formación o patrón de puntos que tenga muy poca probabilidad de ocurrir en condiciones normales” (Gutiérrez, 2010, p. 901).

La utilización de gráficos de control en los talleres de pintura es casi inexistente, por ser un trabajo difícil de medir debido a que cada actividad dentro del proceso es distinta por la diversidad de líneas de vehículos, marcas y tipos de colisiones que puedan tener los autos.

Un gráfico de control adaptado al proceso de formulación de colores permitirá tener una línea central que presentara la media de las variabilidades del proceso, además los límites en el gráfico de control de formulación de pintura permitirán saber si la variabilidad esta fuera del control estadístico.

Las causas que pueden identificarse en un gráfico de control estadístico son:

- Causa especial: es una variabilidad que no se puede evitar, aunque los procesos estén estandarizados y se utilicen las materias primas requeridas en forma óptima.

- Causa común: es una variabilidad que se puede evitar, ya que surge debido a una falla del proceso y de las herramientas utilizadas o de los fallos humanos muy comunes en trabajos de alta precisión.

Los gráficos de control permiten a los fabricantes demostrar que el proceso está bajo control estadístico, debido a que la variabilidad del proceso está dentro de los límites establecidos.

Existe diferentes variantes en los gráficos de control, el uso depende de la variable a controlar, por ejemplo una variable binaria solo tiene dos valores, en cambio sí cuantificamos el color de los autos estas variabilidades tienen infinitud de resultados, en es te caso es una variable discreta.

7.5.3. Tipos de variables

Las variables cuantitativas se representan por medio de números, con ellas podemos realizar cálculos para la comprensión de planteamiento matemático. Se dice que una variable es discreta, cuando no permite valores intermedios entre valores específicos. Una variable es continúa, cuando toma valores comprendidos entre dos números enteros.

Las variables cualitativas son las que no se pueden representar por medio de números, pueden ser nominales, cuando representan cualidades no numéricas que no admiten un orden específico. Y pueden ser ordinales, del mismo modo no son numéricas pero existe un orden entre las variables (de mayor a menor por ejemplo).

7.5.4. Estudio de tiempos y movimientos

El concepto de medición del trabajo expresa que, “la medición del trabajo es la aplicación de conocimientos y técnicas para determinar el tiempo que invierte un colaborador calificado en llevar a cabo una operación definida”. (García, 2005, p. 11).

La medición del ciclo del trabajo permite la corrección de fallos dentro el proceso, “el ciclo de tiempo del trabajo puede aumentar a causa de un mal diseño del proceso o producto, un mal funcionamiento de la línea o por tiempo improductivo cuya responsabilidad es de la dirección o a los trabajadores”. (García, 2005, p. 11).

El estudio de movimientos es la técnica para minimizar la cantidad de trabajo en una estación o en la interacción del colaborador con el proceso.

7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Proceso de enderezado y pintura
 - 1.1.1. Enderezado de carrocería
 - 1.1.2. Preparado de carrocería
 - 1.1.3. Pintura de carrocería
 - 1.1.4. Control de calidad del acabado
- 1.2. Colorimetría
 - 1.2.1. Colorimetría en pintura automotriz
 - 1.2.2. Códigos de color en la industria automotriz
 - 1.2.3. Componentes de la pintura automotriz
 - 1.2.4. Sistemas de pintura automotriz
- 1.3. Medición del color
 - 1.3.1. Fundamentos del color
 - 1.3.2. Atributos de color
 - 1.3.3. Coordenadas cromáticas
 - 1.3.4. Instrumentos de medición

- 1.4. Sistemas de medición de color
 - 1.4.1. Comisión Internacional de la Luz y el Color (CIE)
 - 1.4.2. Sistema CIELAB
 - 1.4.3. Sistema CIELCH
 - 1.4.4. Variabilidad del color
- 1.5. Modelos matemáticos
 - 1.5.1. Modelado y simulaciones
 - 1.5.2. Métodos estadísticos
 - 1.5.3. Tipos de variables
 - 1.5.4. Estudio de tiempos y movimientos

2. DIAGNÓSTICO

3. MEDICIÓN DE VARIABLES

4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5. PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

En la sección de metodología se describe el enfoque, alcances, tipo de estudio, variable e indicador, fases y resultados esperados.

9.1. Diseño

La investigación es de tipo no experimental, ya que se realizarán las observaciones en procesos ya establecidos sin manipulación alguna de las variables.

9.2. Enfoque

El enfoque es de tipo mixto, de tipo cuantitativo, se analizaran las principales variables triestímulo del color automotriz, así como los tiempos que lleva realizar el proceso de formulación de pintura. Y de tipo cualitativo de acuerdo al marco teórico donde se plantean los conceptos de las variables.

9.3. Tipo de estudio

El tipo de estudio será descriptivo, debido a que se evaluarán los resultados obtenidos en las mediciones de las variables y se describirán los comportamientos que éstas tienen en la formulación de los colores automotrices. Y a su vez explicativo, se detallará porque los colores metalizados presentan un grado más alto de complejidad para el colorista.

9.4. Análisis y obtención de la información

La obtención de la información de fuentes primarias, es decir, datos que provienen de las fuentes originales:

- Medición de las variables triestímulo del color en acabos defectuosos.
- Medición de las variables triestímulo del color en acabos metálicos.
- Medición de las variables triestímulo del color en acabos lisos.

Mediante la observación en las visitas a la clínica de colores, se analizarán las piezas que son consideradas defectuosas, es decir, que presentan demasiado contraste.

9.5. Alcance

El alcance de la investigación es a nivel de propuesta, la estandarización de parámetros por medio de gráficos de control y medición de tiempos en el proceso permitirá tomar decisiones a los talleres de enderezado y pintura de cómo mejorar la calidad de sus procesos.

9.6. Variables

La investigación contiene el análisis de variables independientes y dependientes que se presentan a continuación:

Tabla I. Variables de estudio

Criterio Variable	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición	Dimensiones	Indicadores	Operacionalización
	Dicotómica	Polidicotómica	Discreta	Continua						
Reflectancia del color automotriz				X		X	Razón	Grado de claridad	Escala de medición	Espectrofotómetro
Cromaticidad del color automotriz				X		X	Razón	Saturación del color	Escala de medición	Espectrofotómetro
Diferencia de color entre muestra y formulación	X				X		Nominal	Diferencia entre las claridades y saturaciones	Deltas de las escalas de medición	Métodos matemáticos. Fórmulas de Excel.
Tiempo estándar para formular un color				X		X	Razón	minutos	Escala de medición	Cronómetro
Método de formulación de color.	X				X		Nominal	Operaciones e inspecciones.	Tiempos estándar	Métodos matemáticos. Fórmulas de Excel.

Variables dependientes	
Variables independientes	

Fuente: elaboración propia.

9.7. Fases de la metodología a aplicar

- Fase 1. Se realiza la revisión documental de antecedentes en otros talleres de pintura, así como publicaciones de diferentes fabricantes de pintura automotriz.
- Fase 2. Se describen los procedimientos de formulación de la empresa, tomando en cuenta los valores triestímulo del color que presentan los colores en el proceso. Se medirán los tiempos que toman realizar un color automotriz y cuál es la fluctuación del color.
- Fase 3. Se desarrollara en base a métodos estadísticos el análisis de los valores triestímulo del color para determinar por medio de gráficos de control si el proceso está dentro de los parámetros aceptables.

- Fase 4. Se definirá la estandarización de los valores triestímulo del color en base a información de los gráficos de control y estadística que determinara la variabilidad de las muestras. Así también en base a la formulación propuesta por el software con el que trabaja el espectrofotómetro estandarizar los tiempos de formulación de colores automotrices.

9.8. Resultados esperados

Con el estudio de investigación se espera que los talleres de enderezado y pintura que cuentan con clínica de colores puedan estandarizar los valores triestímulo del color de las pinturas automotrices, para garantizar la satisfacción del cliente. Este estudio servirá como modelo de análisis de nuevas formas de cuantificar el color automotriz y reducir tiempos en la formulación de los colores. Por último evitara los reprocesos en la aplicación de pintura.

9.9. Población y muestra

El estudio de realizar en base a la cantidad de vehículos que se pintan en un mes, se consideran los vehículos defectuosos por mes. En base a esto se considerará la población y muestra. Fórmula para la muestra aleatoria poblacional:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Los cálculos se tabularan por medio de Microsoft Excel.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Partiendo de los objetivos planteados, se realizará el análisis de la información de acuerdo a las técnicas siguientes:

10.1. Observación

Se llevará a cabo para comprender el criterio de evaluación de la formulación de colores que emplea el colorista, en base a la observación se podrá describir el procedimiento que efectúa el colorista y los principales criterios que hacen que un color sea aceptable o no. (Ver anexo).

10.2. Estadística descriptiva

Se realizará para la determinación de las variables triestímulo de color, y servirá para la construcción de diagramas de control.

10.2.1. Medidas de tendencia central

La medida de tendencia central será indispensable para identificar el centro de tendencia de la distribución, es decir, esta medida debe encontrarse dentro del rango de variación del conjunto de datos. Se realizará el cálculo para obtener los límites superiores e inferiores del diagrama de control, con el fin de comprobar si el gráfico está en control estadístico.

10.2.2. Medidas de dispersión

Principalmente se considera el estudio la desviación estándar, se realizará el cálculo para conocer por medio de este valor la dispersión de los valores

triestímulo en conjunto, también esta medida sirve para construir los límites del gráfico de control.

10.2.3. Índices de capacidad del proceso

Se determinará el índice de capacidad ya que da la pauta para considerar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas de los valores triestímulo de color en conjunto. Se considera capaz si el valor calculado es mayor a la unidad.

10.3. Diagramas de dispersión de medias independientes

Se realizará para determinar si el proceso de medición de colores se encuentra en control estadístico al plasmar los datos, así mismo se utilizará para el análisis de los parámetros que servirán para estandarizar el proceso. Los diagramas de control darán a conocer la dispersión de los valores triestímulo en el tiempo.

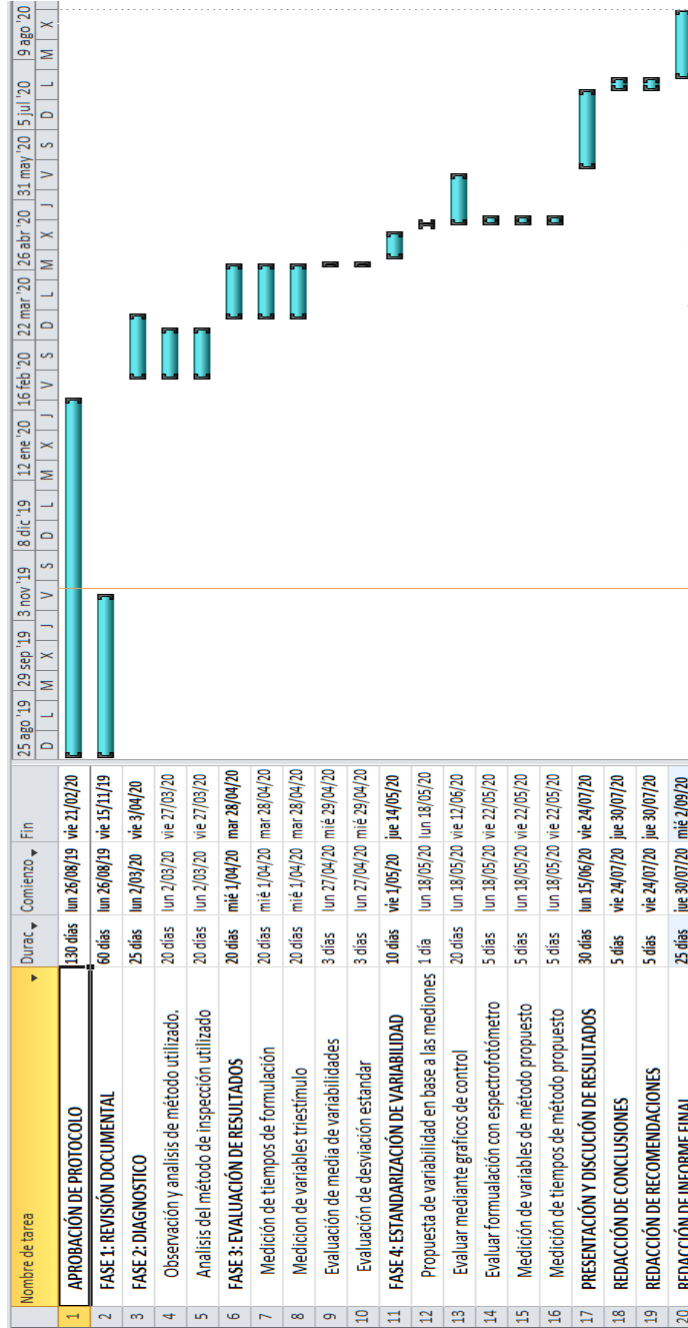
Fórmulas para media y desviación estándar:

$$\text{Media aritmética} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\sum \frac{(X - \text{Media})^2}{N}}$$

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla II. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La factibilidad del diseño de una propuesta para la estandarización de los colores automotrices es factible, ya que controlar diversas variables que presenta el color servirá como una guía para el laboratorio de pinturas, la calidad del color en los trabajos se podrá cuantificar, entregando al cliente un acabado de calidad para la entera satisfacción del mismo.

El taller podrá evaluar la información de forma estadística y evidenciar si el proceso de formulación se encuentra en control.

La factibilidad del estudio se determina en base al presupuesto necesario para realizar la investigación, se cuenta con el presupuesto requerido lo cual da luz verde para realizar el estudio. Los principales recursos a utilizar sería:

- Recurso humano: técnicos, pintor, pulidos y supervisores, asesor de tesis, investigador.
- Recursos financieros: pago de transporte, horas invertidas en la investigación.
- Recursos materiales: espectrofotómetro, equipo de cómputo, útiles varios.

Tabla III. **Recursos financieros**

Rubro	Monto en quetzales	Fuente de financiamiento
Asesoría	2,500.00	Asesor de tesis
Recursos materiales	12,000.00	Investigador
Transporte	3,500.00	Investigador
Estudios de maestría	10,800.00	Investigador
Total	28,800.00	

Fuente: elaboración propia.

El financiamiento será mixto, la empresa proporcionara la parte técnica, es decir, materiales físicos, instrumentos de medición, la información necesaria. El investigador por su parte, aportará los gastos en estudio de la maestría, recursos materiales y transporte. Y el aporte adición que realiza asesor al brindar su tiempo en el transcurso de la investigación.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

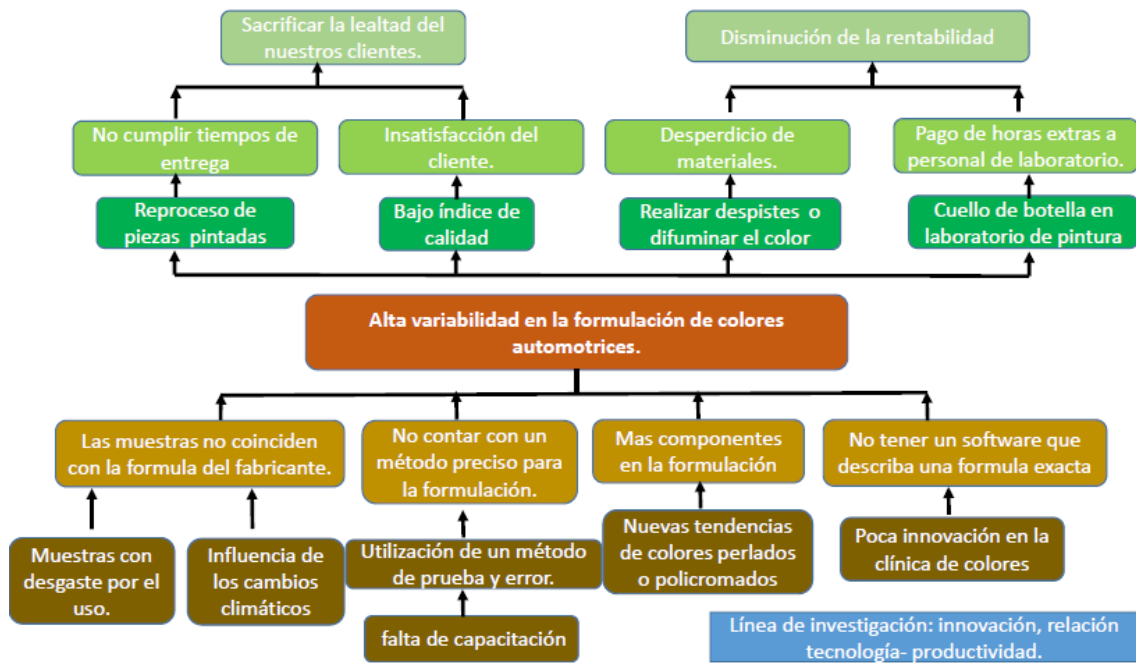
1. Amador, J., Colunga, E., y Sánchez, D. (2019). Análisis cromático y espectral de lacas acrílicas para retoque de pintura automotriz blanca mediante reconocimiento de pautas no supervisado. *UNICIENCIA Vol. 33*, 61-74. doi:<http://dx.doi.org/10.15359/ru.33-1.5>
2. Amookht, A., Gorji Kandi, S., y Mahdavian, M. (2014). Effect of surface texture on color appearance of metallic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 1221-1225. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.02.010>
3. Amookht, S. Gorji, S. y Mahdavian, M. (2019). Mathematical description of spectrophotometric properties of metallic coatings using spectral derivation and principal component analysis. *Progress in Organic Coatings*, 338-348. doi:<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.01.023>
4. Bocco, M. (2010). *Funciones elementales para construir modelos matemáticos* (1ª edición) . Buenos Aires: Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
5. De Castro M. (1999). *Carrocería y Pintura Nueva Enciclopedia del Automovil*. Barcelona : CEAC, S.A.
6. Deroche, A. (1992). *Manual de reparación y repintando de carrocerías automotrices*. Juárez, México: Prentice Hall.

7. Fuster, V. (2009). *Análisis de la incertidumbre en la medida del goniocromatismo*. (Tesis para diploma de estudios avanzados) Universidad de Alicante, España.
8. Gangakhedkar, N. (2010). Colour measurement of paint films and coatings. En M. Gulrajani, *Colour Measurement* (págs. 279-311). Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing Limited. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857090195.2.221>
9. García R. (2005). *Estudio del trabajo*. México, D.F: McGraw-Hill.
10. González F. (2014). *Proceso de pintura en la industria de automoción*. (Tesis de Maestría). Escuela de Ingenierías Industriales. Valladolid España.
11. Gupte, V. (2010). Expressing colours numerically. En M. Gulrajani, *Colour Measurement* (págs. 70-87). Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing Limited. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857090195.1.70>
12. Gutiérrez H. (2010). *Calidad total y productividad*. México D.F.: McGraw-Hill.
13. Maldonado, L. (2013). *El modelamiento matemático en la formación del ingeniero*. Bogotá: Ediciones Universidad Central.
14. Medina, J., y Diaz, J. (2017). Fluctuation scaling of color variability in automotive metallic add-on parts. *Progress in Organic Coatings*, 118-124. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.12.017>

15. Spitzer, D., Gottenbos, R., Van Hensbergen, P., y Lucassen, M. (1996). A novel approach to color matching of automotive coatings. *Progress in Organic Coatings*, 235-238. doi:[https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(96\)00618-2](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(96)00618-2)
16. Streitberger, H. y Dossel, K. (2008). *Automotive Paint and Coatings*. Weinheim: Wiley VCH.
17. Vazquez A. (2008). *Determinación de la formulación optima de un recubrimiento epoxico con pigmento de oxidos metalicos laminares y fosfato de zinc de gran resistencia a la radiación UV*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de México. México.
18. Viqueira V., De Fez D., y Martínez Verdú, F. (2010). Colour vision: theories and principles. En G. M.L., *Colour Measurement* (págs. 3-18). Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing Limited. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857090195.1.3>

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Titulo de la investigación	Planteamiento del problema	Preguntas de investigación	objetivos	Metodología	Resultados esperados
Estandarización en la formulación de colores automotrices para satisfacción del cliente utilizando métodos estadísticos	Alta variabilidad en la formulación de colores automotrices.	Pregunta central: ¿Cómo una estandarización de colores en el área automotriz mejora la satisfacción del cliente?	Objetivo general: proponer la estandarización de la formulación de colores automotrices utilizando métodos estadísticos para reducir la variabilidad del color.	En base a la descripción del proceso y cuantificación de las variables proponer la estandarización de la variabilidad del color	Reducir los reprocesos en la área de pintura y garantizar y cumplir con los tiempos de entrega establecidos.
		¿Cómo se determina la variabilidad en la formulación de colores automotrices?	Específicos: Medir la variables triestímulo de color utilizando modelos matemáticos.	Medión de variables cuantitativas y utilización del sistema cielab	Cuantificar la variabilidad del conjunto triestímulo de color.
		¿Cómo se determina la variabilidad en la formulación de colores automotrices?	. Estandarizar la variabilidad del colores automotrices por medio del sistema CIELAB.	Analizar las variables medidas y analizar el comportamiento de dichas variables	Proponer un estándar el la variabilidad del color
		. ¿Cómo disminuir los reprocesos que provoca la deficiente formulación de colores automotrices?	Analizar la variabilidad de colores automotrices para disminuir retrocesos en base a gráficos de control.	Por medio de gráficos de control comprobar si el proceso esta bajo control	Incorporar los gráficos de control como parte del proceso de análisis de color.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Tabulación de variabilidades de atributos del color automotriz**

ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC_{ab}^*	Δh_{ab}^*	ΔH_{ab}^*	ΔE_{ab}
1.41	-2.25	0.69	-0.38	4.24	2.32	2.75
Tol(L*)	Tol(C*)	Tol(H*)			DECISIÓN	PASA/NO PASA
1.50	2.80	1.90				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Criterio de evaluación de formulación de colores**

Pasos para la formulación	Pasa	No pasa
Paso 1 de formulación		
Paso 2 de formulación		
Paso 3 de formulación		
Paso 4 de formulación		
Paso n de formulación		

Fuente: elaboración propia.