



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo de Integración Curricular

**Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica
Automotriz**

AUTORES:

Bryan Steven Guambi Caiza

Henry Romario Juiña Achig

TUTOR:

Ing. Denny Guanuche

**Estudio comparativo de luminosidad de pintura automotriz a base de agua y pintura
automotriz a base de solvente.**

CERTIFICACIÓN

Nosotros, Bryan Steven Guambi Caiza, Henry Romario Juiña Achig, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Bryan Steven Guambi Caiza



Henry Romario Juiña Achig

Yo, Ing. Denny Guanuche, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Firma profesor

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, que siempre me brindaron su apoyo incondicional, quienes han sido mi motivación diaria para llegar a ser la persona que hoy soy.

Bryan Guambi Caiza

Este trabajo se lo dedico a mis padres, porque siempre estuvieron ahí dando lo mejor de sí para que pueda estudiar una carrera, además de su esfuerzo y dedicación me hicieron ver que el mundo siempre da oportunidades y que cuando pase debo decidir solo por mí, por eso y por muchas cosas quiero agradecerles dedicando mi último trabajo de esta hermosa carrera.

Henry Juiña Achig

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi tutor el Ing. Denny Guanuche, docente de la carrera de ingeniería automotriz, quien fue un apoyo importante con sus conocimientos, su paciencia y constancia para la culminación de este trabajo.

A nuestro compañero Camilo Ledesma quien nos permitió el acceso a Maresa center, y permitirnos realizar las pruebas en los vehículos.

Índice de Contenido

Certificación	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de gráficos	8
Artículo.....	9
Resumen	9
Introducción.....	10
Marco Teórico	11
Pintura automotriz	11
Pintura a base de agua.....	11
Pintura automotriz base de solvente.....	11
Componentes de la pintura.....	11
Pintura a base de solvente	12
Pintura automotriz de poliuretano	12
Pintura automotriz de poliéster	12
Sistema de pintura robotizado.....	12
Brillo.....	12
Medidor de brillo	13
Norma de repintado automotriz	13
Tamaño de muestra finita	13
Materiales y Métodos.....	14
Metodología.....	14
Resultados y discusión.....	20
Conclusiones	22
Bibliografía	23
Anexos	25
Anexos introducción	25
Anexo 1: Pintura automotriz a base de agua	25

Anexo 2: Daños a la salud por contaminación	27
Anexo 3: Perdida de luminosidad en pintura automotriz	33
Anexos fundamentación teórica.....	54
Anexo 4: Pintura automotriz.....	54
Anexo 5: Componentes de pintura	67
Anexo 6: Medidor de brillo.....	69
Anexos materiales y métodos	71
Anexo 7: Normativa ASTM D523-14	71
Anexo 8: Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 286:2001	76
Anexo 9: Muestreo sistemático	83
Anexo 10: Tamaño de muestra por población finita	87
Anexo 11: Cifras sector automotor AEADE.....	94
Anexo 12: Materiales utilizados	95
Anexo 13: Procedimiento de medición de luminosidad en vehículos	97
Anexos resultados y discusión	99
Anexo 14: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Mazda Cx-5 2017	99
Anexo 15: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Mazda Cx-5 2019	99
Anexo 16: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Mazda Cx-5 2022	101
Anexo 17: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Kia Rio 2017.....	102
Anexo 18: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Kia Rio 2019	103
Anexo 19: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Kia Rio 2022.....	104
Anexo 20: Elaboración de tablas y graficas con los resultados obtenidos.....	105
Anexo 21: Tabla de resultados Mazda Cx-5	106
Anexo 22: Grafica de resultados Mazda Cx-5	106
Anexo 23: Tabla de resultados Kia Rio	106
Anexo 24: Grafica de resultados Kia Rio	107

Índice de Imágenes

Imagen 1: Medidor de brillo FRU.....	14
Imagen 2: Número de vehículos según edad del parque automotor y ubicación geográfica	14
Imagen 3: Porcentaje de ventas de vehículos por marcas	15
Imagen 4: Limpieza de área selecciona para realizar medición de brillo.....	17
Imagen 5: Encendido del instrumento de medición de brillo.....	17
Imagen 6: Calibración automática del instrumento de medición de brillo.....	18
Imagen 7: Tapa de medidor de luminosidad con calibrador	18
Imagen 8: Medidor de brillo sobre el área a realizar la prueba	19
Imagen 9: Medición de brillo en capó de vehículo y obtención de datos	19

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Descripción de muestra por población finita.....	15
Ecuación 2: Muestra por población finita	16
Ecuación 3: Reemplazo de valores en ecuación 1	16
Ecuación 4: Resultado de muestra	16
Ecuación 5: Descripción de la ecuación.....	16
Ecuación 6: Valor salto sistemático	16
Ecuación 7: Descripción número de inicio.....	16

Índice de gráficos

Gráfico 1: Valores Gu según año del modelo Kia Rio (pintura base solvente)	20
Gráfico 2: Valores Gu según año del modelo Mazda Cx-5 (pintura base agua).....	21

Índice de tablas

Tabla 1: Gloss Units según acado de superficie	17
Tabla 2: Años de vehículos a realizar pruebas	20
Tabla 3: Medición de brillo en relación con el año del modelo Kia Rio.....	21
Tabla 4: medición de brillo en relación con el año del modelo Mazda Cx-5	2

Artículo

ESTUDIO COMPARATIVO DE LUMINOSIDAD DE PINTURA AUTOMOTRIZ A BASE DE AGUA Y PINTURA AUTOMOTRIZ A BASE DE SOLVENTE.

Ing. Denny Guanuche¹, Bryan Guambi C.², Henry Juiña A.³

¹Ing. Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, deguanuchela@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

²Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, Brguambica@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, hejuinaac@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen

Introducción: Estudio en base a la comparación de luminosidad de la pintura automotriz a base de agua con la pintura automotriz a base de solvente del mismo color con el objetivo de analizar la variación de luminosidad entre las pinturas y determinar cuál presenta una mayor duración de luminosidad, con el fin de fomentar el uso de pintura automotriz a base de agua con menos emisiones de COV. **Metodología:** En la fase de pruebas con la ayuda de un medidor de brillo, se realizaron pruebas de medición de luminosidad de la pintura en 15 autos de la marca Mazda modelo Cx-5 con pintura a base de agua color rojo (Soul Red Crystal 46V) y en 15 autos de la marca Kia modelo Rio con pintura a base de solvente color rojo (Dragon Red Met WR7), las pruebas se realizaron bajo la normativa ASTM D 523-14 con el propósito de determinar la pintura que tendrá mayor tiempo de vida y mantendrá una mayor luminosidad al paso del tiempo. **Resultados:** Con los datos obtenidos, se determinó que la pintura a base de agua pierde de 1,5% a 2% de luminosidad cada 3 años en su pintura a comparación de la pintura a base de solvente. **Conclusión:** Se concluye que uso de pintura automotriz a base de agua es una opción factible para sustituir a la pintura a base de solvente, ya que la reducción de su luminosidad es imperceptible a comparación de la luminosidad de la pintura a base de solvente.

Palabras clave: ASTM D 523-14, Luminosidad, Emisiones de COV, Pintura, Medio Ambiente.

Abstract

Introduction: Study based on the comparison of luminosity of water-based automotive paint with solvent-based automotive paint of the same color with the aim of analyzing the variation in luminosity between the paints and determining which one has a longer duration of luminosity, in order to encourage the use of water-based automotive paint with lower VOC emissions. **Methodology:** In the testing phase, with the help of a gloss meter, paint luminosity measurement tests were carried out on 15 Mazda Cx-5 model cars with red water-based paint (Soul Red Crystal 46V) and in 15 Kia Rio model cars with red solvent-based paint (Dragon Red Met WR7), the tests were carried out under the ASTM D 523-14 standard with the purpose of determining the paint that will have the longest life and It will maintain a greater luminosity over time. **Results:** With the data obtained, it was determined that the water-based paint loses from 1.5% to 2% of luminosity every 3 years in its paint compared to the solvent-based paint. **Conclusion:** It is concluded that the use of water-based automotive paint is a feasible option to replace solvent-based paint, since the reduction in its luminosity is imperceptible compared to the luminosity of solvent-based paint.

Keywords: ASTM D 523-14, Luminosity, VOC Emissions, Paint, Environment.

Introducción

El uso de pintura automotriz a base de solvente emite grandes cantidades de emisiones de contaminantes orgánicos volátiles (COV), los cuales generan contaminación al medio ambiente, lo cual genera problemas muy graves, también afecta a la salud de los operadores que trabajan en el área de pintura, ya que los compuestos de esta pintura causan daños a las vías respiratorias que con el tiempo produce enfermedades incurables que con llevan a la muerte. La pintura base de agua tienen características y durabilidad similares que las pinturas base de solventes y una amplia gama de colores. (Rico et al., 2001)

En la actualidad los sistemas de pintura están evolucionando con el objetivo de cuidar al medio ambiente, por tal motivo, hoy en día encontramos una nueva tecnología de pintura automotriz a base de agua, la cual, reduce las emisiones de COV que se generan durante el proceso de pintado de vehículos en un 57%. El sistema de pintura Aqua-tech se ha convertido en el sistema de pintura al agua menos contaminante del mundo ya que sus emisiones de COV generan tan solo 15 gramos por metro cuadrados. (Mazda Automóviles España, 2009)

Se realizó un estudio de luminosidad de pintura automotriz como es la pintura automotriz a base de agua y pintura automotriz a base de solvente, con el objetivo de analizar la luminosidad entre la pintura a base de agua y la pintura a base de solvente, en diferentes condiciones, para determinar la reducción de intensidad en condiciones ambientales del DMQ. Se realizó las pruebas prácticas bajo la normativa ASTM D 523-14 con el propósito de determinar la pintura que tendrá mayor tiempo de vida e identificar reducción lumínica que presentan los diferentes autos seleccionados al pasar 3 y 5 años de exposición a las diferentes condiciones geográficas que presenta el DMQ. (ASTM D523-14, 2018)

Esta investigación se llevó a cabo mediante el uso de un medidor de brillo que nos da el valor exacto de luminosidad de la pintura, para lo cual se realizó una toma de datos sobre las unidades de brillo (Gu), La variable dependiente para la realización del estudio está sujeta a las unidades de brillo en relación con el año de fabricación del auto. Con los resultados ya obtenidos se propondrá la utilización de pintura menos contaminante y que cumpla con las normativas NTE INEN 2286 establecidas en la industria automotriz ecuatoriana. (Águeda Casado, Eduardo; García Jiménez, José Eduardo; Gómez Morales, Tomás, 2003)

Para esta investigación se seleccionó una muestra de la población de vehículos con pintura a base de agua como lo es el Mazda CX-5, el cual ingreso al mercado ecuatoriano en el año 2017 con su nuevo color rojo denominado "soul red cristal" a base de agua. Por otro lado, se seleccionó al vehículo al vehículo Kia Rio con su color (Dragon Red Met WR7), el cual ingreso al mercado ecuatoriano a partir del año 2017. Los vehículos seleccionados son de dos marcas diferentes las cuales siguen un proceso y preparación a sus vehículos con estándares similares para el pintado automotriz ya que las dos marcas siguen estándares asiáticos y usan el sistema de pintura robotizado. Se decidió realizar las pruebas en estas dos marcas de vehículos ya que sus procesos de pinturas son similares y su color rojo metálico es similar. Actualmente, un elevado porcentaje de la población ecuatoriana desconoce el uso de la pintura automotriz a base de agua, por lo cual en talleres de repintado automotriz continúan con el uso y oferta de pintura automotriz a base de solvente.

Marco teórico

Pintura automotriz

La pintura automotriz no solo es un detalle estético, a su vez se desempeña como aislante para el metal de la carrocería, evitando que se corroa, a su vez la pintura tiene como objetivo soportar diferentes temperaturas y partículas que pueden dañar la carrocería. A lo largo de los años de la industria automotriz, el proceso de pintura ha cambiado para mejor, volviéndose un proceso meticuloso y largo, se han implementado hornos y cámaras de vacío con el fin de evitar la entrada de partículas contaminantes que pueden resultar en desperfectos y zonas vulnerables a agentes de desgaste en diversas condiciones. Los sistemas de pintura automotriz están compuestos por varias capas de revestimientos, los cuales proporcionan características importantes como es la protección a la corrosión, color, brillo, durabilidad ante las diferentes condiciones ambientales. (Cruz Villegas, 2011)

Pintura a base de agua

La pintura a base de agua es una nueva tecnología la cual permite reducir los niveles de COV, un 15% en pinturas a base de agua contra un 75% de las pinturas a base de solvente, lo cual la convierte amigable con el medio ambiente, la cual ofrece características como es el secado rápido, excelente cubrimiento, reduce la contaminación. Aunque su precio es más elevado a diferencia de las pinturas tradiciones. La pintura a base de agua tiene varias ventajas como es mayor poder cubriente de la pieza a pintar, proceso de pintado más rápido, reducción de contaminantes, protección a la salud de los operadores. (CÓMO MEZCLAR PINTURA PARA AUTOMÓVILES: Comprender las porciones de mezcla de pintura, s.f.)

Pintura automotriz bicapa

La pintura automotriz a bicapa usa químicos que generan emisiones de COV lo que significa que la aplicación de esta pintura es de dos capas, aplicandose primero el color, y después la aplicación de barniz adquiriendo brillo y dureza por su meza con catalizadores haciendo que el acado sea resistente a la corrosión y degastes por diferentes factores naturales. (D'Addario, 2019)

Componentes de la pintura

La pintura según su calidad prolonga la vida util del automovil, protegiendolo de corrosion, la pintura maximiza su efecto con una mezcla de aditivos y pigmentos especiales enfocandose en la vida util de la pintura. Entre los componentes se encuentran, el pigmento, el cual es la tintura del tono y color deseado en polvo pudiendo ser mezclando por algun solvente. El pigmento aumenta la resietencia de la pintura y su capacidad de cobertura. Los aglutinantes utilizados son soluciones que tiene como objetivo dar adhesión a la pintura formando una primera capa de brillo que puede ser completada con el uso de barniz. Los solventes otorgan una mejor manipulación en la aplicación de la pintura y a su vez influye directamente en la cobertura y densidad que esta tendra. (Lesur, 2000)

Pintura a base de solvente

La pintura a base de solvente es un producto que está compuesto por sólidos y líquidos que se adhieren a la carrocería del vehículo proporcionando color y protección al mismo, este tipo de pintura está compuesto por pigmentos, solventes, resinas y aditivos. Los pigmentos son sólidos que dan color y efectos a la pintura. Estos pigmentos pueden ser de origen orgánico o inorgánico cada uno de ellos tiene diferentes funciones al momento de ser aplicados ya sea para dar color, efecto al aplicar luz, llenar poros, protección a la corrosión. (Orquera Guevara , 2012)

Pintura automotriz de poliuretano

La pintura automotriz de poliuretano es un revestimiento que al reaccionar con grupos de hidroxilo forman poliuretanos, ya que está compuesta por disocianato y polioliol, este material es utilizado en vehículos por su gran capacidad de adherencia al metal y su resistencia. (Weldon, 2009)

Pintura automotriz de poliéster

La pintura automotriz de poliéster es un derivado de poliuretano, este tipo de pintura al ser aplicada sola, da una apariencia opaca tanto en pinturas solidas o pinturas perladas, esta pintura también es conocida como base ya que necesita ser aplicada un barniz. (Weldon, 2009)

Sistema de pintura robotizada

Este sistema de pintura consiste en el uso de un spray el cual se controla con precisión mediante la programación del ángulo de pulverización, velocidad e intensidad del flujo de pintura, garantizando una cobertura completa sobre las piezas. (S.A., s. f.)

Brillo

El brillo es definido como el efecto visual que tiene la superficie de un objeto con la luz proyectada de manera específica. En si la cantidad de brillo emitido por una superficie es directamente proporcional a la luz directa reflejada, por lo que la percepción del brillo para el ojo humano es mucho mayor. Entre otras variables con relación al brillo proyectado, están los tipos de superficie con lo que se refleja la luz, al ser una superficie lisa y pulida el reflejo msotrado sera mas nitido y la percepción del brillo sera mucho mas alto. (Alonso Felipe, 2016)

Esto sucede cuando la luz incidida es reflejada de forma directa y con el mismo angulo de entrada que el angulo de luz incidida. Para disponer de datos especificos sobre las unidades y realizar de brillo y realizar este proyecto es necesario utilizar medidores de brillo, el principio del brillometro es captar la luz especular en proporcion a la luz incidente y reflejada de la superficie. Cada proceso y metodologia de medicion de brillo debe cumplir con normas de estandarización como la UNE-EN ISO 2813. (Rojas Rojas , Murillo Quiros, & Gutierrez Fallas, 2017) (Haynes, 1998)

Tabla 1.

Gloss Units según acabado de superficie

ACABADO EXTRA MATE	12 GU
ACABADO MATE	25 GU
ACABADO SATINADO	65 GU
BRILLO	+90 GU

Fuente. (Haynes, 1998)

Medidor de brillo

El medidor de brillo es un instrumento que permite medir sobre superficies planas, opera según el principio de un refractómetro. La reflexión especular está directamente relacionada con la relación entre la luz incidente y la luz reflejada, este proceso es realizado en un ángulo de 60°. (Medidores, 2017)

Norma de repintado automotriz

La pintura automotriz debe cumplir con normas y mostrar alta calidad en los resultados después de su correcta aplicación. Las principales propiedades por tomarse en cuenta son la densidad, la cobertura, dureza y elasticidad de la pintura. Con relación a lo mencionado se referencia a la norma NTE INEN 2286 que establece los requisitos que debe cumplir los fondos nitrocelulósicos y pinturas usadas en latonería y afines al retoque y repintado de vehículos automotores. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2001)

Tamaño de muestra

Para la realización del estudio se debió incluir cálculos de muestra finita. Para lo cual se tuvo que definir primero el tamaño de la muestra, si parámetros necesarios y detectar diferencias en los grupos de estudio en este caso Los años de diferencia de los modelos. El cálculo del tamaño de la muestra Está en función de las variables, cantidad y poder estadístico. (Garcia Garcia, Reding Bernal, & Lopez Alvarenga, 2013)

Muestreo sistemático

El muestreo sistemático es un tipo de muestreo probabilístico, donde el primer elemento de la muestra se selecciona al azar y luego los elementos subsiguientes se seleccionan en un intervalo de tiempo constante o sistemático hasta alcanzar el tamaño de muestra deseado. (Valenzuela et al., 2010)

Materiales y métodos

Metodología

El método empleado en esta investigación será una metodología experimental, a través de la cual se realiza un estudio comparativo entre la pintura automotriz a base de agua y la pintura automotriz a base de solvente con el fin de determinar la reducción de luminosidad presente en cada pintura después de 3 y 5 años de fabricación del vehículo expuesto a las condiciones geográficas del DMQ. Para este proyecto se realizó el estudio con un medidor de brillo que será puesto a prueba en el capó, ya que es la parte frontal del vehículo donde recibe mayor desgaste por las diferentes condiciones climáticas y a su vez la temperatura que emite el motor al estar en funcionamiento. Los modelos 2022 de las dos marcas sirvieron como grupo de control para la obtención y comparación de datos de los resultados obtenidos con el medidor de brillo a los demás vehículos de años anteriores que ya han experimentado un desgaste en su brillo y pintura.

Para este estudio se realizó las pruebas con un Medidor de brillo marca FRU (WG60C) con un rango de medición: 0 a 200 Gu (Gloss Units) que cuenta con un ángulo de proyección de 60 grados. Este medidor de brillo está diseñado y fabricado con referencia a la norma internacional ISO 2813. Los parámetros técnicos cumplen con las normas ASTM D523-14. (Duran & Tisi, 2020), en las cuales se detalla el método de medición de brillo de pintura, como se puede apreciar en la Imagen 1.

Imagen 1: Medidor de brillo FRU



Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

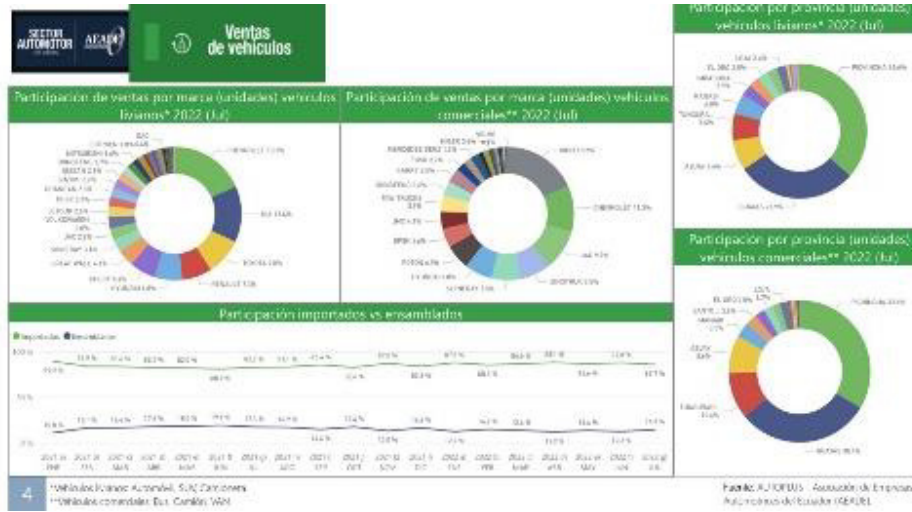
Para este proyecto se seleccionó vehículos con tonalidad similar (rojo) de la marca Mazda modelo CX-5 y vehículos de la marca Kia modelo Rio. Dichas marcas de automóviles se seleccionaron 5 unidades del año 2017, 2019 y 5 vehículos nuevos del año 2023 mediante un calculo de tamaño de muestra finito para vehículos automotrices. Según la pagina de la AEADE, el numero de vehiculos livianos es de 2 418 109 a los que pertenecen estos dos modelos especificos. De entre los cuales solo el 42% esta en el rango de años de 2017, 2019, 2022 a lo que se enfocó este estudio, como se puede apreciar en la Imagen 2 y 3. (AEADE, 2021)

Imagen 2: Número de vehículos según edad del parque automotor y ubicación geográfica



Fuente: AEADE. (2021)

Imagen 3: Porcentaje de ventas de vehículos por marcas



Fuente: AEADE. (2021)

Para la selección de vehículos se realizó un cálculo de tamaño de muestra, con los valores obtenidos de las Imágenes 2 y 3, estos datos nos permitirán determinar la muestra que necesitamos para realizar el proyecto.

Donde se determina que la población a nivel nacional SUV Ecuador es de 619.314 vehículos, por otro lado tenemos que el porcentaje de vehículos con antigüedad de 1-5 años es el 18% de los 619.314 vehículos, lo cual nos da como resultado 111.476 vehículos, el porcentaje de vehículos en pichincha es de 37%, lo que nos da como resultado 41.246 vehículos en pichincha, mientras que el porcentaje de ventas de Mazda es del 2%, y sus ventas del Mazda CX-5 es del 21%, lo que nos da como resultado una población de vehículos Mazda CX-5 en Quito de 173.

Se procede a realizar el cálculo de muestra por población finita, en donde aplicaremos los datos obtenidos.

$$\eta = \frac{(z^2) * N * p * q}{(e^2) * (N - 1) + (z^2) * p * q}$$

Ecuación 1: Descripción de muestra por población finita

En donde:

Z = nivel de confianza = 1.96

N = población = 173

p = porcentaje de probabilidad de éxito = 0.5

q = porcentaje de probabilidad de fracaso = 0.5

e = margen de error = 0.05

$$\eta = \frac{(z^2) * N * p * q}{(e^2) * (N-1) + (z^2) * p * q} \text{ Ecuación 2: Muestra por población finita}$$

$$\eta = \frac{(1.96^2) * 173 * 0.5 * 0.5}{(0.05^2) * (173-1) + (1.96^2) * 0.5 * 0.5} \text{ Ecuación 3: Reemplazo de valores en ecuación 1}$$

$$\eta = 120 \text{ Ecuación 4: Resultado de muestra}$$

Se determino que la muestra necesaria es de 120 vehículos Mazda CX-5 sin tomar en cuenta el color, este modelo de vehículo cuenta con una gama de 8 colores diferentes, para lo cual nuestro proyecto se enfoca exclusivamente en el color rojo, por lo que la muestra que se necesita es de 15 vehículos Mazda de color rojo.

Por otro lado, en este proceso se realizó un muestreo sistemático, para la elección de años de los vehículos a realizar las pruebas de medición de brillo, para lo cual se aplicó la siguiente formula:

$$K = \frac{N}{n} \text{ Ecuación 5: Descripción de la ecuación}$$

Donde:

K = salto sistemático

N = tamaño de la población

n = tamaño de la muestra

$$K = \frac{6}{2} = 3 \text{ Ecuacion 6: Valor salto sistemático}$$

$$A = N. \text{ aleatorio} * (1 - K) \text{ Ecuacion 7: Descripción número de inicio}$$

En donde:

A = número de inicio

N. aleatorio = numero aleatorio de 1 a número del salto sistemático

K = salto sistemático

Después de aplicar la ecuación para obtener el número de inicio tenemos como resultado que A=3, por lo que para obtener el primer resultado aplicaremos el resultado de K que nos da un valor de 3, para el segundo resultado sumaremos el valor de A y el valor de K, lo que nos da como resultado 6, para obtener los años de los vehículos a seleccionar se buscara el número 3 y 6 en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Años de vehículos a realizar pruebas

1	2017
2	2018
3	2019
4	2020
5	2021
6	2022

Autor: Guambi, Juiña (2022)

Se procedió a realizar las pruebas en los vehículos seleccionados, para ello se debe limpiar el área a realizar la medición, en este caso el capó de los vehículos fue limpiado como se puede apreciar en la Imagen 4.

Imagen 4: Limpieza de área seleccionada para realizar medición de brillo



Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

Una vez que se realizó la limpieza del área del capó, se procedió a accionar el botón de encendido del instrumento de medición de brillo, de este modo el medidor de brillo se encenderá y realizará la calibración automática la cual se realiza mediante un vidrio de color negro que viene incorporado en el interior de la tapa del medidor de brillo, como se puede apreciar en la Imagen 5, 6 y 7.

Imagen 5: Encendido del instrumento de medición de brillo



Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

Imagen 6: Calibración automática del instrumento de medición de brillo



Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

Imagen 7: Tapa de medidor de brillo con calibrador



Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

Al realizar la calibración automática, el instrumento de medición de brillo esta listo para usar en la pintura del vehículo, para lo cual se debe colocar en un área plana para que la medición se pueda realizar de manera correcta, como se puede apreciar en la imagen 8.

Imagen 8: Medidor de brillo sobre el área a realizar la prueba



Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

Con el medidor de brillo puesto en el área a medir, se procedió a accionar el botón para realizar la medición de brillo de la pintura del vehículo seleccionado según la normativa ASTM D 523-14 “Método de prueba estándar para brillo especular”. (ASTM D523-14, 2018), para la obtención de datos de luminosidad, como se puede apreciar en la imagen 9.

Imagen 9: Medición de brillo en capó de vehículo y obtención de datos

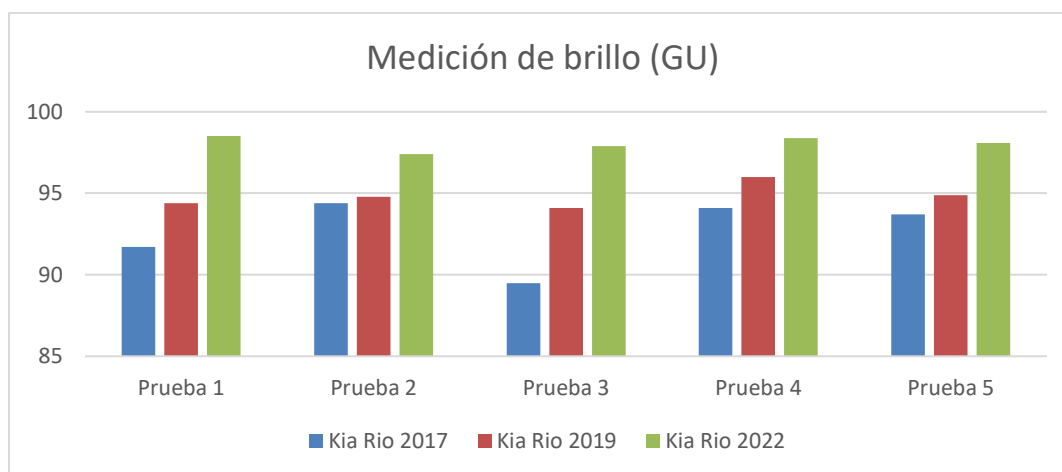


Fuente: Guambi B. & Juiña H. (Autores)

Resultados y discusión

En la grafica 1 y tabla 3 se observa la comparativa de medición de brillo en los diferentes vehículos seleccionados con los resultados obtenidos después de cada prueba realizada bajo la normativa ASTM D 523-14 “Método de prueba estándar para brillo especular”. (Standard Test Method for Specular Gloss, s. f.), que nos menciona que se debe realizar la prueba con un ángulo de proyección de 60°.

Gráfico 1: Valores Gu según año del modelo Kia Rio (Pintura Base solvente)



Autor: Guambi, Juiña (2022)

Tabla 3.

Medición de Brillo en relación con el año del modelo KIA RIO (Pintura base solvente)

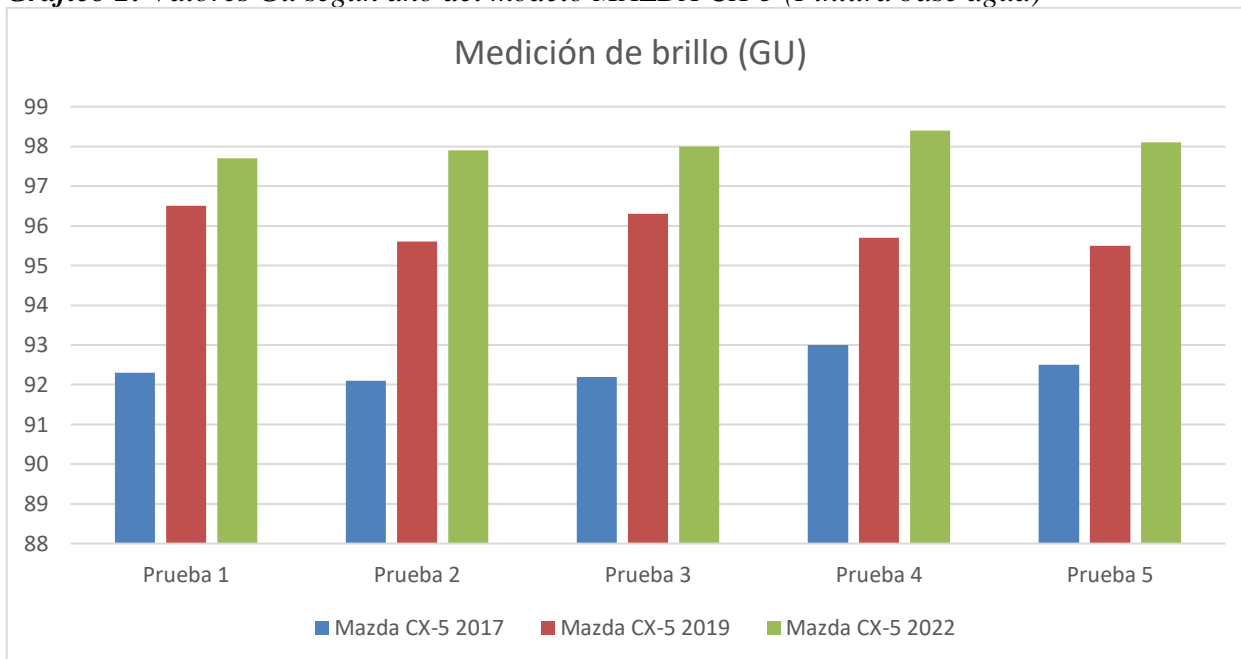
	KIA RIO 2017	KIA RIO 2019	KIA RIO 2022
Angulo de proyección	60°	60°	60°
Medición de Brillo			
Prueba 1	91.7 Gu	94.4 Gu	98.5 Gu
Prueba 2	94.4 Gu	94.8 Gu	97.4 Gu
Prueba 3	89.5 Gu	94.1 Gu	97.9 Gu
Prueba 4	94.1 Gu	96.0 Gu	98.4 Gu
Prueba 5	93.7 Gu	94.9 Gu	98.1 Gu

Autor: Guambi, Juiña (2022)

Se observa de forma independiente la variación de resultados obtenidos en la medición de brillo, tomando en cuenta los diversos factores de desgaste como lo son: lavadas, pulidas, lluvia acida, radiación solar, exposición al cambio de temperatura, factores geográficos del DMQ, por medio de los datos obtenidos por medio del medidor de brillo, se determina un mayor desgaste y pérdida de luminosidad en la pintura a base de solvente en un periodo de 5 años, la pérdida de luminosidad de la pintura a base de solvente en los primeros 3 años es de un 3 a 4 %, mientras que en los primeros 5 años de vida del vehículo la pérdida de luminosidad de la misma pintura es de 4 a 6%.

En la gráfica 2 y tabla 4, se aprecia la comparativa de la medición de luminosidad (GU) de los vehículos con pintura a base de agua, con los datos obtenidos después de cada prueba en los diferentes vehículos.

Gráfico 2: Valores Gu según año del modelo MAZDA CX-5 (Pintura base agua)



Autor: Guambi, Juiña (2022)

Tabla 4.

Unidades de Brillo en relación con el año del modelo MAZDA CX-5 (Pintura base agua)

	MAZDA CX-5 2017	MAZDA CX-5 2019	MAZDA CX-5 2022
Angulo de proyección	60°	60°	60°
Medición de Brillo			
Ensayo 1	92.3 Gu	96.5 Gu	97.7 Gu
Ensayo 2	92.1 Gu	95.6 Gu	97.9 Gu
Ensayo 3	92.2 Gu	96.3 Gu	98.0 Gu
Ensayo 4	93.0 Gu	95.7 Gu	98.4 Gu
Ensayo 5	92.5 Gu	95.5 Gu	98.1 Gu

Autor: Guambi, Juiña (2022)

Los resultados obtenidos en los vehículos con pintura de base de agua se evidencia una menor pérdida de luminosidad en la pintura en modelos 2019 a comparación a los vehículos del año 2022, por lo que se determina que los vehículos con pintura a base de agua tienen un 2 a 3% de pérdida de luminosidad en su pintura, después de 5 años de vida de los vehículos se puede evidenciar que la pérdida de luminosidad es de un 5 a 6%.

Conclusiones

Mediante este estudio comparativo se pudo concluir que la reducción de luminosidad en la pintura automotriz a base de agua y la pintura automotriz a base de solvente tienen una reducción muy similar, ya que en los primeros 3 años ambas pinturas tienen una reducción de un 3% aproximadamente, lo cual ante el ojo humano es imperceptible, por otro lado, en el transcurso de 5 años de vida de la pintura de los vehículos se puede determinar que el desgaste de luminosidad que presenta la pintura a base de solventes de 4 a 6%, mientras que la pintura a base de agua tiene una pérdida de 5 a 6%, por lo que se determina que ambas pinturas tienen un desgaste máximo de un 6% en 5 años de vida útil en el DMQ.

El uso de pintura automotriz a base de solvente genera altos índices de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, lo cual afecta al medio ambiente como a la salud de las personas, mientras que la pintura a base de agua tiene una reducción aproximada del 45% de emisiones COV, por lo que este estudio concluye que la pérdida de luminosidad de la pintura automotriz a base de agua tiene una duración similar a la pintura a base de solvente, por lo cual el sistema de pintura automotriz a base de agua presenta mayores ventajas al ser amigable con el medio ambiente y precautelar la salud de sus operarios.

Para finalizar, se puede deducir que el uso de pintura automotriz a base de agua es una opción factible para la sustitución de la pintura automotriz a base de solvente en el DMQ, ya que presenta una duración conforme a lo esperado y su luminosidad no disminuye en condiciones geográficas de aproximadamente 2790 metros sobre el nivel del mar.

Referencias

- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Recuperado el 5 de Marzo de 2015, de http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- Mazda Automóviles España. (8 de Septiembre de 2009). *MAZDA COMIENZA A UTILIZAR SU NUEVO SISTEMA DE PINTURA AQUA-TECH*. Obtenido de <https://es.mazda-press.com/news/2009/mazda-comienza-a-utilizar-su-nuevo-sistema-de-pintura-aqua-tech/>
- Águeda Casado, Eduardo; Garcia Jimenez, Jose Eduardo; Gomez Morales , Tomas. (2003). *Automoción. Preparación y embellecimiento de superficies*. Editorial Paraninfo.
- Cruz Villegas, M. (2011). *Repositorio Digital Universidad Estatal del Sur de Manabí*. Obtenido de Estudio de impacto ambiental de los talleres de pintura automotriz en la Ciudad de JIPIJAPA: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/324>
- Cuenca, A., Rodríguez, C. (2020). Estudio Comparativo de la Pintura a Base de Agua y la Pintura a Base de Solvente. Facultad de Mecánica Automotriz. UIDE Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 286:2001. *Pinturas. Fondos Nitrocelulósicos para repintado en la industria automotriz. Requisitos*. Quito: INEN.
- D'Addario, M. (2019). *Manual de Chapa y Pintura: Fundamentos, técnicas, ejercicios y prácticas* (págs. 28-33).
- Weldon, D., 2009, "Failure Analysis of Paints and Coatings", Editorial Wiley, Pensilvania, USA, (pp. 96-108).
- CÓMO MEZCLAR PINTURA PARA AUTOMÓVILES: Comprender las porciones de mezcla de pintura.* (s.f.). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=YZF87HzpPBE>
- Rojas Rojas , L., Murillo Quiros, N., & Gutierrez Fallas, D. (2017). Análisis de pintura automotriz mediante espectroscopía Raman para uso forense. *Revista Tecnología en Marcha*, 8-12.
- Duran , G., & Tisi, J. P. (2020). The effect of different finishing and polishing procedures on the surface gloss of Bulk-Fill resin composites. *International journal of interdisciplinary dentistry*.
- Lesur, L. (2000). Manual De Pintura Automotriz: Una Guia Paso a Paso. En L. Lesur, *Manual De Pintura Automotriz: Una Guia Paso a Paso* (págs. 76-85). Editorial Trillas Sa De Cv.
- Haynes, J. (1998). *Manual automotriz para la Reparacion de Carroceria & Pintura Haynes Techbook*. Haynes Manuals N. America, Incorporated.
- ASTM D523-14. (2018astm). *Standard Test Method for Specular Gloss*. <https://www.astm.org/d0523-14r18.html>

- Orquera Guevara , E. I. (2012). Estudio del comportamiento de sistemas de pintura automotriz de base poliuretano en las condiciones atmosféricas del sector de Tumbaco, en la ciudad de Quito. *Repositorio Digital EPN*.
- Alonso Felipe, J. V. (2016). *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización*. UPM ETSI.
- García García, J. A., Reding Bernal, A., & López Alvarenga, J. C. (2013). *Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica*. Mexico DF: ELSEVIER.
- Sector Automotor en cifras – Enero 2021 – AEADE*. (s. f.). Recuperado 25 de agosto de 2022, de https://www.aeade.net/sdm_downloads/sector-automotor-en-cifras-enero-2021/
- Medidores, J. G. D. (2017, 29 junio). *Medidor de brillo PCE-GM 100*. Recuperado 22 de octubre de 2022, de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-brillo/medidor-brillo-500mc.htm>
- S.A., R. E. K. (s. f.). *Robots Industriales para Pintura | EK roboter S.A. 2009-2020* EK roboter S.A. Recuperado 24 de octubre de 2022, de <https://www.ekroboter.com/es/integracion-de-soluciones/robots-industriales/antropomorficos/pintura.php>
- Valenzuela, J., Guillen, A., Prado, J. & Badii, J. (2010). Concepto y Aplicación de Muestreo Conglomerado y Sistemático. *Daena*, 6(2). <https://philpapers.org/rec/GUICYA>
- Rico, F., López, R. & Jaimes, E. (2001). *Daños a la salud por contaminación atmosférica*. Universidad Autónoma del Estado de México, (pp.122-127)
- Ibujés, S. M. O. (2011, 9 diciembre). Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte: Cálculo del tamaño de la muestra. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/765>

Anexos

Anexos introducción

Anexo 1: Pintura automotriz a base de agua

Mazda Automóviles España. (8 de Septiembre de 2009). MAZDA COMIENZA A UTILIZAR SU NUEVO SISTEMA DE PINTURA AQUA-TECH. Obtenido de <https://es.mazda-press.com/news/2009/mazda-comienza-a-utilizar-su-nuevo-sistema-de-pintura-aqua-tech>

NOTA DE PRENSA
Mazda Automóviles España, S.A.



Es el proceso de pintura al agua menos contaminante del mundo

Mazda comienza a utilizar su nuevo sistema de pintura Aqua-tech

Madrid, 17 de junio de 2009. Mazda ha anunciado la entrada en servicio de su nuevo sistema de pintura Aqua-tech, para pintado de carrocerías de vehículos, en su planta japonesa Ujina 1. Esta innovadora tecnología se ha situado entre las mejores del mundo en limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) contenidos en la pintura, así como en reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que se generan como consecuencia del consumo de energía asociado al proceso de pintado de vehículos.

El sistema de pintura Aqua-tech mantiene los bajos niveles de emisiones de CO₂ de la técnica de tres capas de pintura húmeda –actualmente en uso en todas las plantas de producción de Mazda en Japón–, y reduce las emisiones de COV en un 57%. Con unas emisiones de COV extremadamente bajas, de tan solo 15 gramos por metro cuadrado de superficie de carrocería, Aqua-tech se ha convertido en el sistema de pintura al agua menos contaminante del mundo. El nuevo sistema también aporta mejoras a la calidad de la pintura.

Las pinturas con base acuosa producen emisiones de COV mucho más bajas que las pinturas con base de disolvente, debido a su menor contenido en compuestos orgánicos. Sin embargo, el secado de las pinturas al agua consume mucha más energía, debido al proceso de evaporación del agua que se requiere. Las grandes cantidades de dióxido de carbono que se generan asociadas a este proceso son desde hace tiempo una desventaja

NOTA DE PRENSA

Mazda Automóviles España, S.A.



de los sistemas de pintura al agua. Mazda ha resuelto el problema con la introducción de una nueva e innovadora tecnología de recubrimiento.

La tecnología Aqua-tech incorpora un sistema mejorado de climatización del taller de pintura y un nuevo sistema de evaporación de alta eficiencia que elimina el agua contenida en la pintura. Además, Mazda ha mejorado el proceso de recubrimiento mediante el desarrollo de pinturas de acabado de altas prestaciones, que ofrecen propiedades adicionales normalmente aportadas por la pintura de imprimación; por ejemplo, brillo, durabilidad o resistencia a la fotodegradación. Gracias a estos avances técnicos, el sistema Aqua-tech de Mazda genera unas emisiones de COV extremadamente bajas, sin incrementar la generación de CO₂.

De cara al futuro, Mazda seguirá desarrollando nuevas tecnologías en línea con su plan Zoom-Zoom Sostenible. Mazda cuenta con centros de producción de vanguardia que, desde ahora, se completan con el taller de pintura de menor impacto medioambiental del mundo. La marca tiene el compromiso de fabricar vehículos que ofrezcan un placer de conducción en armonía con las prestaciones de seguridad y el respeto del medio ambiente.

La Planta Ujina nº 1, ubicada en Hiroshima, en las proximidades de la sede central de Mazda, es una de sus principales instalaciones de producción de vehículos.

###

Para más información:
Natalia García
Directora de Comunicación
Tel: 914185468
ngarcia9@mazdaeurope.com

Manuel Rivas
Jefe de Prensa
Tel. 914185450
mrivasru@mazdaeurope.com

Web de prensa: www.mazda-press-spain.com

Anexo 2: Daños a la salud por contaminación

Rico, F., López, R. & Jaimes, E. (2001). *Daños a la salud por contaminación atmosférica*. Universidad Autónoma del Estado de México, (pp.122-127)

122

FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Hidrobiól. Martha González Guerrero

M. en E. Anaceli Amaya Chávez

Quím. Jaime Flores Estrada

El sistema biológico mayor y más aproximadamente autosuficiente que conocemos se designa como biosfera, que incluye a todos los organismos vivos de la tierra que actúan recíprocamente con el medio físico como un todo, de modo que se mantenga un sistema de estado fijo intermedio en el flujo de energía entre la alta contribución de energía solar y el sumidero térmico del espacio. La biosfera es la capa del planeta donde tiene lugar el fenómeno de la vida y sus dimensiones son muy pequeñas (comparándolas con las dimensiones de nuestro planeta): diez kilómetros del nivel del mar hacia abajo y 20 kilómetros del nivel del mar hacia arriba.

La atmósfera actual de la Tierra está compuesta principalmente por oxígeno (28.5% aproximadamente) y nitrógeno (79% aproximadamente), además de otros componentes en proporciones diversas, como el vapor de agua, que llega a ocupar hasta 4% en volumen. La temperatura disminuye con la altura y también se relaciona con los procesos de intercambio de energía que determinan el movimiento de convección de las masas de aire, así como la velocidad de difusión de las especies químicas que lo componen, entre ellos los contaminantes. Estos factores influyen en la distribución de ellos y, en consecuencia, en su capacidad de modificación de los ecosistemas por zonas.

La contaminación atmosférica inició desde la propia creación de la Tierra, con las erupciones volcánicas y emisiones de excesivas cantidades de gases producidas por las reacciones que formaron la primera atmósfera (sin oxígeno). Las primeras formas de vida fueron entonces anaeróbicas (no requieren oxígeno para respirar); de hecho, la vida inició con microorganismos que transformaban otros gases, de tal forma que se produjo oxígeno y éste 'contaminó' el planeta, hasta que se produjo la atmósfera que conocemos actualmente. Para fines prácticos se habla de la contaminación del ambiente a partir de la aparición del hombre y más específicamente desde que éste conoció el fuego, iniciando así la modificación de la atmósfera que existía.

El uso sin control de combustibles con la finalidad de producir energía dio origen a que la especie humana rebasara el umbral de equilibrio de la capacidad de amortiguamiento que posee la naturaleza para ciertos contaminantes y con la revolución industrial y la explosión tecnológica del

siglo XX, el ser humano ha hecho un uso todavía más intensivo de combustibles, como el gas y los derivados del petróleo, cuyos productos de combustión son los principales causantes de la contaminación atmosférica en una cantidad tal que ya amenaza la vida de todas las especies, incluso ha hecho desaparecer a muchas, por lo que el equilibrio ecológico de nuestro planeta cada vez peligrará más.

En este sentido, el balance del consumo de combustibles proporciona información no solamente de la actividad económica de la zona, sino sobre la forma en que se impactará la calidad del aire. Además de la combustión, existen otros procesos y actividades que generan emisiones a la atmósfera, entre ellos el uso de solventes, la aplicación de pinturas, la aplicación de asfalto, la disposición final de residuos sólidos municipales, el tratamiento de aguas residuales e incluso la vegetación, entre otros.

Los contaminantes que se emiten a la atmósfera pueden ser transportados de un lugar a otro o depositados en un sitio específico; durante todo este proceso y hasta que se estabilizan sufren transformaciones químicas o físicas. Las especies químicas se pueden depositar en la superficie terrestre o en diversos sistemas coloidales, generalmente en forma de aerosoles (nubes, brumas, gotas u otros), los cuales también son arrastrados a la superficie terrestre por la lluvia o el viento, hasta que se eliminan o se establecen en las altas capas de la atmósfera.

Los contaminantes atmosféricos incluyen humos, polvos, polen, microorganismos, vapores, gases y sus mezclas. La contaminación atmosférica está formada por una mezcla de sólidos, líquidos y gases que se dispersan de acuerdo con las condiciones meteorológicas y topográficas existentes en el lugar donde se encuentre la fuente de emisión.

Existen numerosas clasificaciones para los contaminantes, las más usadas son:

1. Por su origen:

Contaminantes primarios. Son emitidos a la atmósfera como resultado de un proceso natural o antropogénico. Estos contaminantes están presentes en la atmósfera en su mayor parte en la misma forma como fueron emitidos, por ejemplo el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO₂).

Contaminantes secundarios. Se forman en la atmósfera como el producto de alguna reacción, por ejemplo el ozono (O₃) y los sulfatos.

2. Por su estado físico:

Gases. Incluyen también a los vapores; una vez difundidos no tienden a depositarse, sino que permanecen en la atmósfera, transformándose en compuestos más simples o más complejos.

Partículas. Pueden ser líquidas o sólidas, incluyen polvo, humo y cenizas. Miden entre 500 y 0.0002 micras; las de mayor tamaño se depositan con más rapidez y producen sus efectos cerca de la fuente de emisión; las de tamaño mediano se alejan más y se depositan a cierta distancia de la fuente y las más pequeñas se comportan casi igual a un gas, es decir, se mantienen suspendidas y son transportadas por los vientos a distancias mayores.

3. Por su composición química:

Orgánicos. Contienen carbono e hidrógeno, como los hidrocarburos y sus derivados; puedan contener otros elementos.

Inorgánicos. No contienen compuestos con carbono, excepto los compuestos simples del carbono, como son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂), así como partículas metálicas, óxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), etcétera.

Indudablemente el estudio de los contaminantes de la atmósfera nos permitirá controlar el daño que pueden producir, sin embargo, el control debe realizarse desde su origen, es decir, desde las fuentes que lo emiten, ya que aunque es importante la remediación, es imperativo prevenir la contaminación hasta lograr un desarrollo sostenible, para así asegurar la supervivencia de todas las especies, particularmente de la humana.

Con el objeto de establecer una idea clara de las fuentes de contaminación, se presenta a continuación una clasificación con base en la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y las políticas ambientales en México.

CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN

Las fuentes de emisión se pueden clasificar de acuerdo a su origen en: naturales y antropogénicas.

Naturales. Estas fuentes siempre han existido, en mayor o menor magnitud y frecuencia. Son todos los procesos o fenómenos de emisión que se presentan en los ecosistemas, como resultado de la acción de eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos.

En este tipo de fuentes se encuentran las erupciones volcánicas, las cuales emiten partículas y contaminantes gaseosos, tales como bióxido de azufre, ácido sulfhídrico y metano.

Las partículas levantadas por el viento en las tolvaneras (grandes cantidades de polvos y materiales de desecho levantados por fuertes vientos) y de los suelos erosionados son otra importante fuente natural de contaminación atmosférica.

Los incendios forestales, aunque pueden ser originados por actividades humanas, se clasifican usualmente como fuentes naturales, en ellos se generan humo, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y cenizas.

También hay emisiones por los procesos metabólicos de la vegetación, los cuales contienen gran cantidad de hidrocarburos. Asimismo, las partículas de polen causan afecciones respiratorias y alergias en los seres humanos.

Los océanos, por ejemplo, emiten continuamente partículas de sal, las cuales son corrosivas para los metales y las pinturas; adicionalmente, la acción de las olas reduce el material rocoso a arena, la cual eventualmente pasa a la atmósfera.

Otras fuentes naturales son los lagos alcalinos, los pantanos y la cría de ganado.

Antropogénicas. Las fuentes antropogénicas, como su nombre lo indica, son resultado de las actividades humanas y se clasifican según su movilidad o distribución espacial. Por su movilidad, las fuentes antropogénicas de emisiones contaminantes se clasifican como:

Fuentes fijas.

Fuentes móviles.

1. Fuentes fijas. De acuerdo con el artículo 6° del *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera*, se definen como "...toda instalación establecida en un sólo lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generan o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera". (DOF, 1988). Ejemplos de estas fuentes son las cementeras, refinerías e industrias de proceso (químicas y de alimentos, entre otras).

2. Fuentes móviles. El mismo reglamento las define como todo equipo y maquinaria no fijos, con motores de combustión y similares, que con motivo de su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera, las cuales incluyen a los automóviles, camionetas, camiones de carga, motocicletas y el transporte público en general (aviones, barcos y trenes, entre otros).

Por su distribución espacial, las fuentes antropogénicas de emisiones contaminantes se clasifican como:

Fuentes puntuales.

Fuentes no puntuales, también llamadas fuentes de área.

1. *Fuentes puntuales.* Su totalidad de emisiones contaminantes a la atmósfera son reportadas al nivel de cada establecimiento, de tal forma que es posible monitorear en ellas el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, asimismo, es factible integrar y mantener actualizado el inventario de fuentes de contaminación. La mayoría de las industrias, como petroquímica, farmacéutica, automotriz, celulosa y papel, química, asbesto, vidrio, metalúrgica, avicultura, acuicultura, productos lácteos, molienda de trigo, fabricación de hielo, preparación y mezclas de alimentos para animales, refresquera y tabacalera, entre otras, son fuentes puntuales.

2. *Fuentes no puntuales,* también llamadas *fuentes de área.* Incluyen una o varias actividades distribuidas en un área determinada, cuyas contribuciones particulares, a diferencia de las fuentes puntuales, no pueden identificarse y evaluarse en forma precisa. En forma individual emiten cantidades relativamente bajas de contaminantes, pero en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera. En esta categoría se incluyen la mayoría de establecimientos comerciales, de servicio y los hogares.

Una clasificación de fuentes no puntuales o de área es la siguiente:

- ❖ Pérdidas evaporativas por transporte y almacenamiento de combustible:
 - Distribución y almacenamiento de gasolina.
 - Carga en aeronaves.
 - Almacenamiento de combustible.
- ❖ Evaporación de solventes por fuentes de área:
 - Lavado en seco.
 - Limpieza y desengrase.
 - Artes gráficas.
 - Consumo comercial de solventes.
 - Recubrimientos industriales.
 - Superficies arquitectónicas.
 - Pintura automotriz.
 - Pintura de tránsito.
 - Esterilización en hospitales.
 - Incineración de residuos hospitalarios.
- ❖ Fuentes evaporativas de hidrocarburos:
 - Rellenos sanitarios.
 - Tiraderos a cielo abierto.

Distribución de gas L.P.
 Uso de asfalto.
 Panaderías.
 Plantas de tratamiento de agua residual.

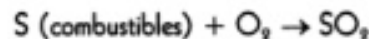
- ❖ Fuentes móviles no carreteras:
 - Locomotoras foráneas.
 - Locomotoras de patio.
 - Aeropuerto (operaciones de aeronaves).
- ❖ Fuentes de combustión:
 - Combustión habitacional.
 - Combustión comercial-institucional.

CONSUMO DE COMBUSTIBLES

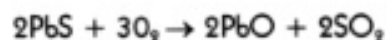
Debido a que los procesos de combustión en todas las fuentes antes mencionadas representan el principal aporte de contaminantes a la atmósfera, es importante mencionar que los factores que intervienen en la emisión por combustión dependen de:

1. Tipo y tamaño de los equipos de combustión.
2. Composición del combustible.
3. Prácticas empleadas en la carga y el quemado.
4. Nivel de instrumentación y mantenimiento de los equipos de combustión.

Asimismo, los principales contaminantes emitidos por los procesos de combustión son los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos, monóxido de carbono y partículas; la cantidad emitida de cada uno de ellos variará de acuerdo con los factores antes mencionados. Tampoco hay que olvidar que una gran cantidad de estos contaminantes pueden sufrir reacciones químicas una vez liberados en la atmósfera, lo que generará otros contaminantes, como es el caso del dióxido de azufre (SO_2), el cual es un contaminante primario que se produce en la combustión de carbón y petróleo que contienen azufre:



También el SO_2 se produce en la refinación de ciertos minerales que son sulfuros:



Anexo 3: Pérdida de luminosidad en la pintura

Guevara, O. E. I. (2012, 9 abril). *Repositorio Digital - EPN: Estudio del comportamiento de sistemas de pintura automotriz de base poliuretano en las condiciones atmosféricas del sector de Tumbaco, en la ciudad de Quito*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4568>, pp. 52-72

3.2.RESULTADOS DE BRILLO

El estudio de la pérdida de brillo de los sistemas de pintura poliuretánicos A y B expuestos en la Estación de Tumbaco fue realizado de manera mensual, con base en la Norma ASTM D523-08 mencionada en el ítem 1.2.4.1, con la ayuda de un brillómetro para el ángulo de medición de 60°.

Hay que indicar que el equipo empleado en la determinación del brillo especular sufrió un desperfecto después del tercer mes de análisis, por esta razón el valor de brillo especular del cuarto mes no se reporta.

La Figura 3.1 muestra la variación del brillo especular de los sistemas de pintura A, conocidos como amarillo limón, estándar y ensayo, ubicados en la Estación de Tumbaco.

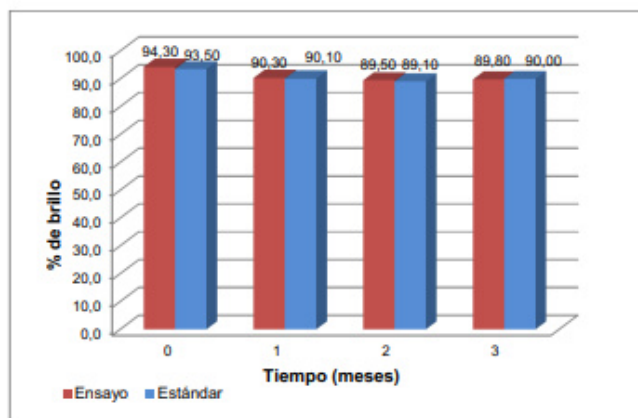


Figura 3.1. Variación del brillo especular del sistema A durante los tres primeros meses de exposición de las placas en la Estación Tumbaco

En el primer mes de exposición exterior se observa que los dos sistemas de pintura analizados tienen un porcentaje de brillo especular de aproximadamente 90%, el cual prácticamente no varía durante el resto del tiempo de análisis.

Las pequeñas variaciones en el porcentaje de brillo de los sistemas de estudio, probablemente se debieron a que las mediciones fueron hechas cada vez en diferentes puntos de la placa, sin embargo, es importante indicar que, diferencias de hasta 1% pueden ser consideradas como el mismo porcentaje de brillo de acuerdo con las especificaciones señaladas en la empresa de pinturas.

La Figura 3.2 muestra la variación del brillo especular de los sistemas de pintura B conocidos como amarillo medio, "estándar" y "ensayo", con exposición exterior en la Estación de Tumbaco.

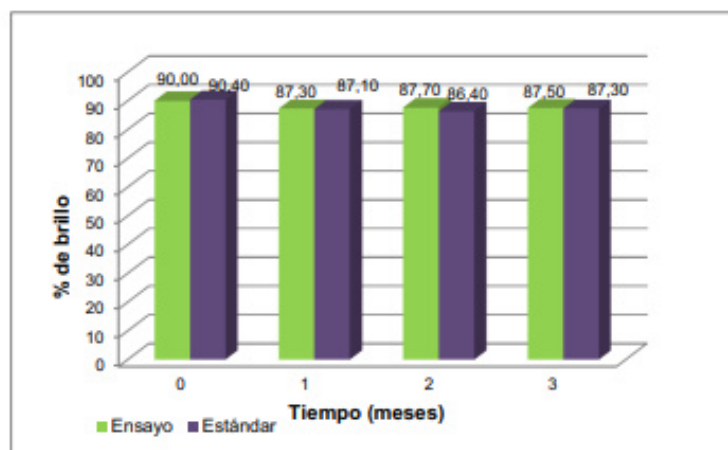


Figura 3.2. Variación del brillo especular del sistema B durante los tres primeros meses de exposición de las placas en la Estación Tumbaco

Como se puede apreciar, tanto los sistemas estándar como ensayo evidencian un porcentaje de brillo especular de alrededor de 88% después de la exposición al exterior, valor que mantienen durante los siguientes periodos de análisis. De acuerdo con las especificaciones de la empresa de pinturas, en recubrimientos automotrices el porcentaje de brillo especular debe ser superior al 85%.

El brillo depende esencialmente del tipo de pintura. Tal como se indicó previamente en el ítem 2.2.2, los cuatro sistemas de pintura poliuretánica analizados en este proyecto están constituidos por proporciones similares de sus componentes orgánicos e inorgánicos. Por tanto, los resultados obtenidos

evidencian que los recubrimientos de poliuretano presentan buena resistencia a la degradación y alto brillo (Hare, 1994; Weldon, 2009).

Es posible concluir que el tiempo de exposición de cuatro meses en la Estación de Tumbaco no fue suficiente para que los factores medioambientales tales como luz, humedad, contaminantes, entre otros, deterioraran a la resina a tal grado que el brillo especular disminuyera al 85%. Más adelante, con el análisis de espectroscopia de infrarrojos, se analizará la degradación de la resina polimérica de los sistemas de pintura estudiados.

3.3.RESULTADOS DE COLOR ENSAYOS DE CAMPO

3.3.1.RESULTADOS DE COLOR POR SISTEMA DE PINTURA

Los resultados de las diferencias de color CIELAB de los sistemas de pintura sometidos al ensayo de campo están tabulados en el Anexo II.

En la Figura 3.3 y Figura 3.4 que se presentan a continuación, es importante indicar que el punto (0,0) corresponde al sistema de pintura antes de ser expuesto al exterior, es decir, el blanco. Este valor en el origen de coordenadas fue empleado como parámetro de comparación para establecer, en cada periodo de análisis, las diferencias tanto de luminosidad como de color de los sistemas de pintura expuestos a la intemperie.

La Figura 3.3 muestra la variación de la coordenada L^* , señalada como pérdida de luminosidad ($-DL^*$) la cual fue evaluada de manera mensual en los sistemas de pintura A y B, estándar y ensayo, conocidos como amarillo limón y amarillo medio, respectivamente, durante cuatro meses de exposición en la Estación de Tumbaco. Inicialmente son estudiados los sistemas de pintura A. El gráfico indica que, tal como se esperaba, el sistema ensayo presenta menor pérdida de luminosidad al compararlo con el sistema estándar desde el primer mes de exposición.

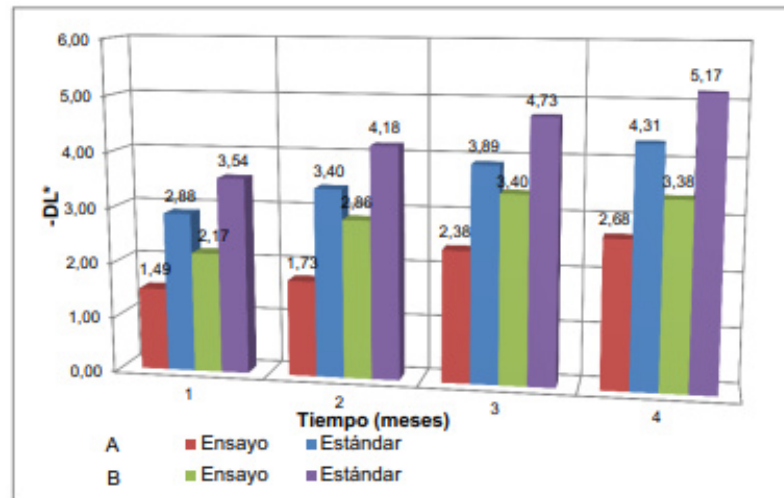


Figura 3.3. Pérdida de luminosidad para los sistemas de pintura A y B

El oscurecimiento del sistema A estándar muestra una tendencia creciente y prácticamente duplica en cada período de análisis a la pérdida de luminosidad del sistema ensayo.

En el análisis de los datos experimentales, es posible aceptar una diferencia entre valores de hasta 0,5 como el mismo valor de luminosidad, de acuerdo con los parámetros establecidos por la empresa de pinturas.

Por lo tanto, el sistema ensayo, del primero al segundo mes de exposición no presenta cambio de luminosidad aparente, en el tercer mes ocurre una pequeña variación que se mantiene hasta el cuarto mes de análisis.

En el último mes de exposición este sistema iguala la pérdida de luminosidad que sufre el sistema estándar en el primer mes.

Por otra parte, en el estudio de los sistemas de pintura B, el sistema estándar se oscurece en mayor proporción que el sistema ensayo desde el primer mes de exposición, y mantiene esta tendencia durante el resto de meses de análisis.

En el sistema B ensayo, en el periodo de uno a dos meses de exposición apenas advierte cambios referidos al oscurecimiento, posteriormente y hasta los cuatro meses de análisis prácticamente no se oscurece.

Al examinar la Figura 3.3, es probable suponer que el oscurecimiento que exhibe el sistema ensayo al tercer mes de exposición, se asemeja al que evidencia el sistema estándar en el primer mes de exposición.

Por otro lado, la Figura 3.4 muestra la determinación del cambio de color de los sistemas de pintura A y B, estándar y ensayo, expuestos por un periodo de cuatro meses, en la Estación de Tumbaco.

Este análisis fue realizado de manera mensual de acuerdo con la variación de la coordenada b^* , amarillo-azul, la cual se señala como pérdida de color ($-Db^*$).

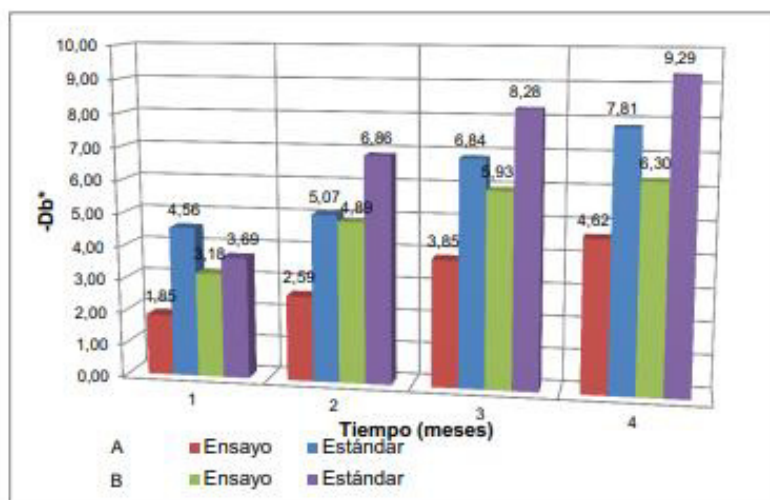


Figura 3.4. Pérdida de color para los sistemas de pintura A y B

En el análisis de los resultados de los sistemas de pintura A, el sistema estándar desde el primer mes de exposición se decolora en mayor proporción que el sistema ensayo. Igualmente, hay que indicar que ambos sistemas presentan una

tendencia creciente de pérdida de color, es decir, una diferencia, a partir del segundo mes de exposición, en los valores medidos superior a la unidad.

Sin embargo, es evidente que el sistema de pintura A ensayo presenta un mejor desempeño frente a los distintos factores medioambientales del sector. La máxima pérdida de color que muestra este sistema en cuatro meses de exposición se equipara a la pérdida sufrida por el sistema estándar en el primer mes de exposición.

Para los sistemas de pintura B, estándar y ensayo, mantienen una tendencia creciente de decoloración, la cual supera una diferencia de valores de una unidad respecto al mes anterior, durante los cuatro meses de análisis.

Aparentemente en el primer mes de exposición la pérdida de color para los dos sistemas es similar, a pesar de ello, el sistema estándar pierde color de manera progresiva y un cambio significativo se aprecia en los primeros dos meses de exposición. Por otro lado, la decoloración que muestra el sistema ensayo ocurre en menor grado en los tres meses de exposición para permanecer prácticamente invariable en el último mes de análisis.

La Figura 3.5 y Figura 3.6 presenta una comparación visual de los sistemas de pintura, A y B, tanto estándar como ensayo, expuestos durante cuatro meses en la Estación de Tumbaco frente a las probetas originales (blancos) sin exposición exterior. Hay que recordar que los sistemas de pintura poliuretánica A y B, que son estudiados en el presente proyecto están constituidos por proporciones similares de sus componentes orgánicos e inorgánicos, tal como fue mencionado en el ítem 2.2.2.

La diferencia entre ellos radica en que los sistemas de pintura A, llamados amarillo limón, contienen en su formulación pigmentos de cromo (cromatos y sulfatos de plomo), y los sistemas B, conocidos como amarillo medio, están constituidos por pigmentos que contienen en mayor proporción cromatos de plomo.

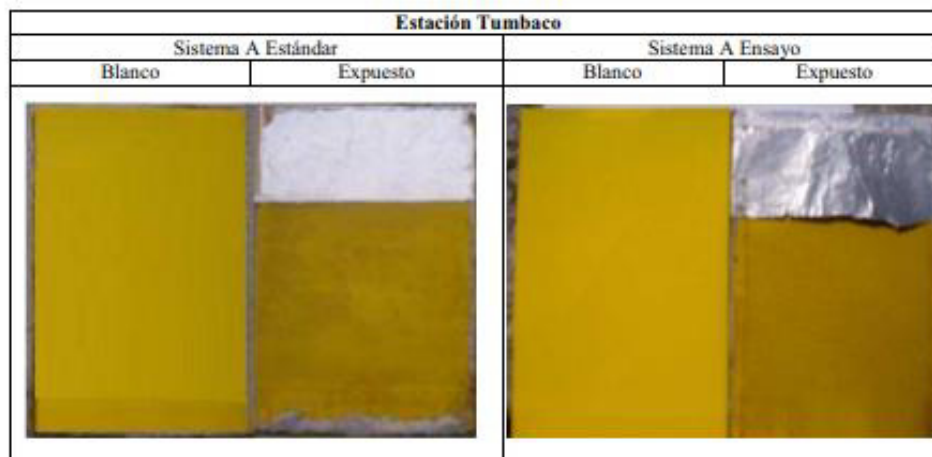


Figura 3.5. Comparación visual de los sistemas de pintura A

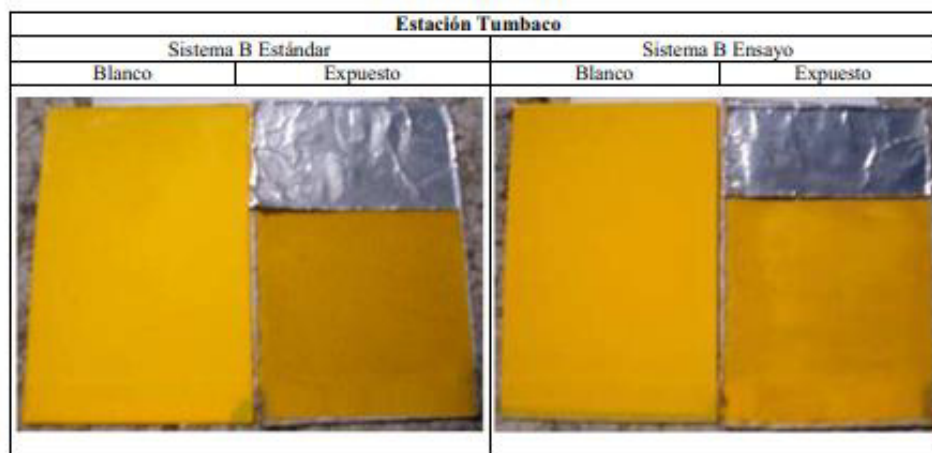


Figura 3.6. Comparación visual de los sistemas de pintura B

En los sistemas estándar A y B, las partículas del pigmento no presentan recubrimiento superficial, motivo por el cual mostraron poca estabilidad en la exposición al exterior. Es posible suponer que estos sistemas de pintura se oscurecieron por la sensibilidad que presentan los pigmentos de cromo a la luz (Charvat, 2003). Es factible que en los pigmentos ocurrieran reacciones de reducción del cromo hexavalente (VI) a cromo trivalente (III), y reacciones de formación de sulfuro de plomo (PbS), como consecuencia de la interacción de factores medioambientales como luz solar, humedad y gases contaminantes tales

como: CO₂, SO₂, SO₃ y H₂S, con los pigmentos de cromo (Weldon, 2009; Matteini y Moles, 2008).

Por otra parte, los sistemas ensayo A y B, contienen en su formulación partículas de pigmentos de cromo recubiertas con una película de sílice que les otorga mayor resistencia a la degradación (Charvat, 2003).

La variación en el color y luminosidad que exhiben los sistemas ensayo, se manifiesta en menor proporción que en los sistemas estándar, lo cual permite suponer que la razón fueron los pigmentos de alta resistencia a la degradación empleados. Hay que indicar que en el ítem 2.2.2 se mencionó que los pigmentos sin recubrimiento superficial y los de alta resistencia presentan similar grado de solidez, sin embargo, es evidente que los sistemas ensayo muestran un mejor comportamiento frente a iguales condiciones de exposición.

Se comprueba entonces que los resultados obtenidos en este proyecto, respecto a la decoloración de los sistemas de pintura, son semejantes a los que señala el trabajo realizado por Zhang *et al*, pese a que las locaciones y las formulaciones de los sistemas de pintura son diferentes.

3.3.2.COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS “ENSAYO”

La Figura 3.7 y Figura 3.8 muestran la variación de la coordenada L* y la variación de la coordenada b*, los cuales son denominadas pérdida de luminosidad (-DL*) y pérdida de color (-Db*) respectivamente, de los sistemas de pintura A y B ensayo.

En ambos sistemas ensayo se busca establecer una comparación entre sus comportamientos, puesto que los dos contienen en su formulación pigmentos recubiertos superficialmente con sílice. En los sistemas ensayo A los pigmentos que los constituyen son cromatos y sulfatos de plomo. En cambio en los sistemas B los pigmentos son en mayor proporción cromatos de plomo.

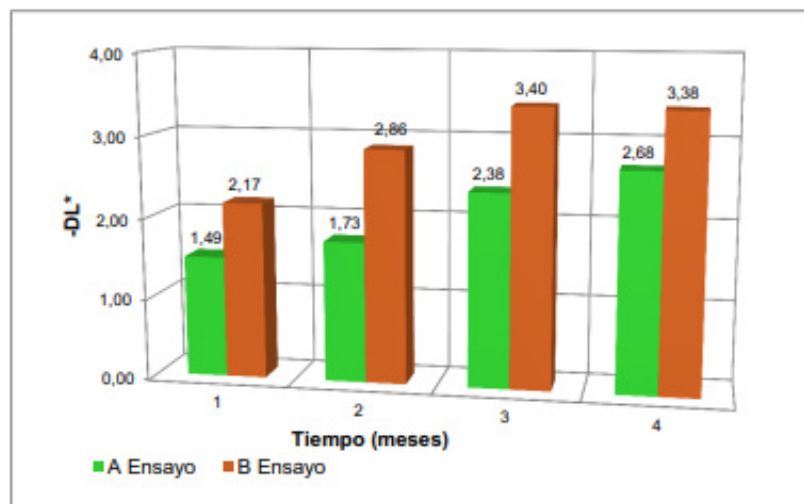


Figura 3.7. Pérdida de luminosidad en los sistemas de pintura A y B ensayo

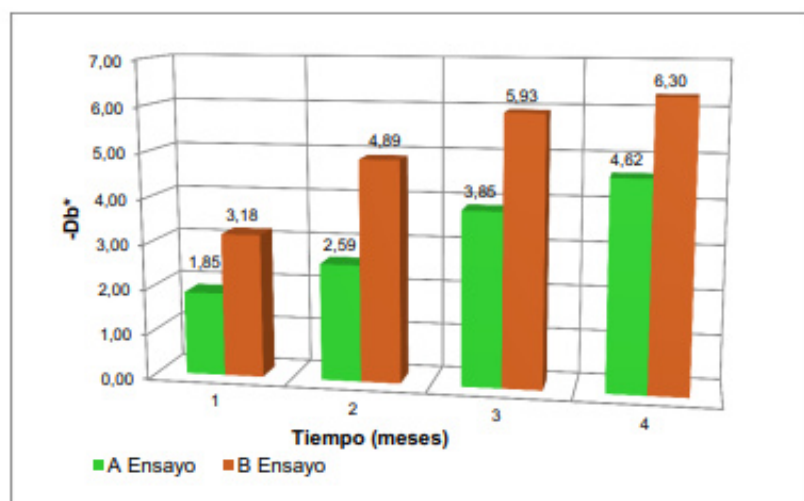


Figura 3.8. Pérdida de color en los sistemas de pintura A y B ensayo

Con base en los datos experimentales, el sistema A ensayo presenta menor tendencia al oscurecimiento que el sistema B ensayo durante los meses de exposición. Aparentemente el sistema A ensayo exhibe un grado de oscurecimiento en el primer mes que es posible suponer no cambia hasta el

segundo mes de exposición. En los meses posteriores se observa un ligero cambio, el cual prácticamente no varía hasta el final del análisis.

Por otro lado, el oscurecimiento del sistema B ensayo ocurre en mayor proporción que el sistema A en el primer mes de exposición, en el segundo mes presenta una ligera pérdida de luminosidad y se podría pensar que a partir de este momento no muestra mayor variación.

En el análisis de los datos experimentales, el sistema B ensayo muestra mayor grado de decoloración que el sistema A ensayo, durante la totalidad del período de estudio. A partir del tercer mes, es posible suponer que este sistema prácticamente no evidencia cambio significativo en el color hasta el final del análisis. De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema B ensayo se oscurece y decolora en mayor proporción que el sistema A ensayo. Es importante recordar que el primero presenta en su formulación mayor proporción de cromatos de plomo, los mismos que como fue mencionado en el ítem 1.1.3.1 son más sensibles a la luz, agua, contaminación entre otros factores y muestran tendencia al oscurecimiento (Weldon, 2009; Palet, 2002).

3.4. RESULTADOS DE COLOR ENSAYOS ACELERADOS

Los resultados de las diferencias de color CIELAB de los sistemas de pintura sometidos al ensayo acelerado de cámara de niebla salina, cámara de arco de xenón o ensayos combinados están tabulados en el Anexo II.

3.4.1. CÁMARA SALINA

Los sistemas de pintura A y B tanto estándar como ensayo, fueron sometidos al ensayo Prohesion (ASTM G85-09 A.5) por un período de tiempo de 348 horas en la cámara de niebla salina.

Al parecer los efectos de la corrosión tuvieron lugar solamente en los filos de las placas, la parte posterior de las mismas estaba cubierta con fondo poliuretánico resistente a la corrosión. A continuación se amplía la explicación del comportamiento de cada uno de los sistemas de pintura frente a dicho ensayo.

La Figura 3.9 muestra la variación de la coordenada L^* , señalada como pérdida de luminosidad ($-DL^*$), para los sistemas de pintura A y B, estándar y ensayo, conocidos como amarillo limón y amarillo medio, respectivamente, en el ensayo acelerado en cámara de niebla salina.

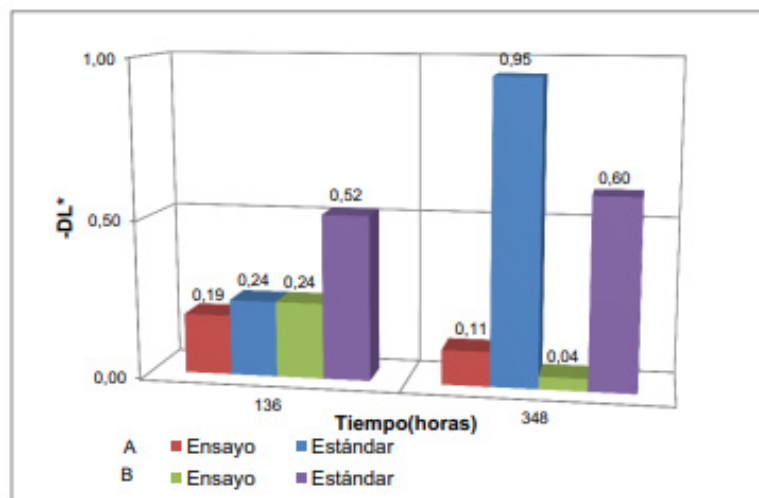


Figura 3.9. Pérdida de luminosidad para los sistemas de pintura A y B

Al analizar la información obtenida del gráfico se observa que los sistema A, estándar y ensayo, en las primeras 136 horas de exposición no experimentan pérdida significativa de luminosidad. Sin embargo, al finalizar el ensayo acelerado, es decir, a las 348 horas de exposición, el sistema estándar muestra un porcentaje mayor de oscurecimiento que el sistema ensayo, y este a su vez no muestra cambio alguno en las 348 horas de exposición.

La pérdida de luminosidad que exhiben los sistemas A en este ensayo acelerado, es poco significativa al compararla con el oscurecimiento que presentan dichos sistemas en la Estación de Tumbaco.

De igual manera, en el análisis de los sistemas B, a las 136 horas de exposición, el sistema estándar se oscurece en mayor porcentaje que el sistema ensayo y prácticamente mantiene esta tendencia el resto del ensayo acelerado.

Al analizar el comportamiento del sistema B ensayo se aprecia que la pérdida de luminosidad a las 136 horas de exposición es mayor que a las 348 horas, a pesar que en ambos casos es posible considerar el mismo resultado de luminosidad, puesto que la diferencia entre los datos experimentales es menor a 0,5.

Por otra parte, la Figura 3.10 muestra la variación de la coordenada b^* amarillo-azul, establecida como pérdida de color ($-Db^*$) de los sistemas de pintura A y B, "estándar" y "ensayo", conocidos como amarillo limón y amarillo medio, respectivamente, en el ensayo acelerado en cámara de niebla salina.

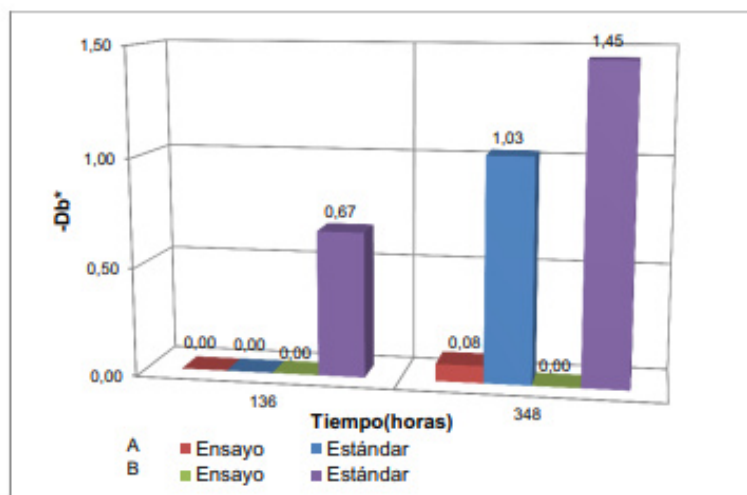


Figura 3.10. Pérdida de color para los sistemas de pintura A y B

En el análisis de los datos experimentales, los sistemas A, estándar y ensayo, no muestran variación apreciable de color las primeras 136 horas del ensayo acelerado.

Al finalizar las horas de exposición al ensayo de cámara de niebla salina, el sistema estándar se decolora en un pequeño porcentaje, en cambio el sistema

ensayo no experimenta variación de color significativa en todo el periodo de análisis.

Por otro lado, en el estudio de los sistemas B, el sistema ensayo no presenta aparente variación en el color durante las horas de exposición a este ensayo acelerado; en cambio, el sistema estándar sufre una decoloración mayor y progresiva para iguales condiciones de exposición.

Es importante indicar que estos sistemas de pintura son resistentes al ataque de la corrosión, por tal motivo sus efectos solo se manifestaron en los filos de las placas.

Al parecer los sistemas de pintura poliuretánica no sufren alteraciones apreciables al ser sometidos al ensayo acelerado de cámara de niebla salina, puesto que no evidenciaron un cambio de color o grado de oscurecimiento significativo.

3.4.2. CÁMARA DE ARCO DE XENÓN

Los sistemas de pintura A y B tanto estándar como ensayo fueron sometidos a este ensayo acelerado basado en la norma ASTM D6695-03b, por alrededor de 200 horas en la cámara de arco de xenón. A continuación se amplía la explicación del comportamiento de cada uno de los sistemas de pintura frente a dicho ensayo.

La Figura 3.11 muestra la variación de la coordenada L^* , establecida como pérdida de luminosidad ($-DL^*$) para los sistemas de pintura A y B, estándar y ensayo, conocidos como amarillo limón y amarillo medio, respectivamente, sometidos al ensayo de cámara de arco de xenón.

De acuerdo con los datos experimentales de los sistemas A, el sistema estándar prácticamente se oscurece a las 100 horas de exposición a la lámpara de arco de xenón. En el resto del ensayo casi no evidencia cambio aparente. Similar comportamiento presenta el sistema ensayo, razón por la cual, se podría suponer

que los sistemas A, tanto estándar como ensayo, ven afectada su luminosidad a causa de la radiación UV en la cámara de arco de xenón.

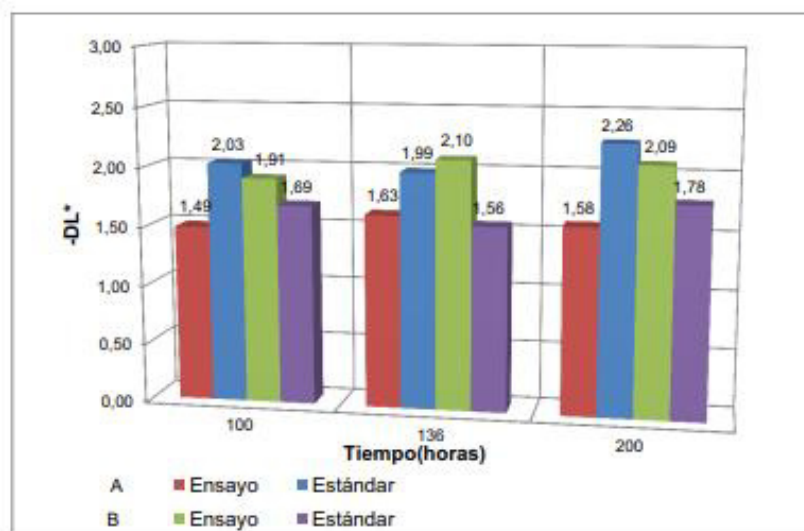


Figura 3.11. Pérdida de luminosidad para los sistemas de pintura A y B

Por otra parte, en los resultados obtenidos de los sistemas B, aparentemente el sistema ensayo se oscurece en mayor proporción que el sistema estándar desde las primeras 100 horas de exposición a la lámpara de arco de xenón, sin embargo, la diferencia entre sus datos experimentales es muy pequeña, menor a 0,5.

Es posible presumir entonces que los dos sistemas pierden luminosidad de igual manera bajo las mismas condiciones de exposición. Hay que indicar que las diferencias obtenidas en los resultados experimentales, en cada período de medición, pueden ser debidas a que el análisis de las probetas en el equipo Datacolor difícilmente ocurre en el mismo punto.

Por otro lado, la Figura 3.12 muestra la variación de la coordenada b^* amarillo-azul, establecida como pérdida de color ($-Db^*$) para los sistemas de pintura A y B, "estándar" y "ensayo", en el ensayo acelerado de cámara de arco de xenón. Los

datos experimentales obtenidos de los sistemas de pintura A señalan que el sistema estándar desde las primeras 100 horas de exposición a la lámpara de arco de xenón muestra una pérdida progresiva de color hasta el final del ensayo acelerado.

Por otra parte, el sistema ensayo se decolora en menor proporción y podría pensarse que la pérdida de color que evidencia en las primeras 100 horas de análisis no varía hasta el final del ensayo.

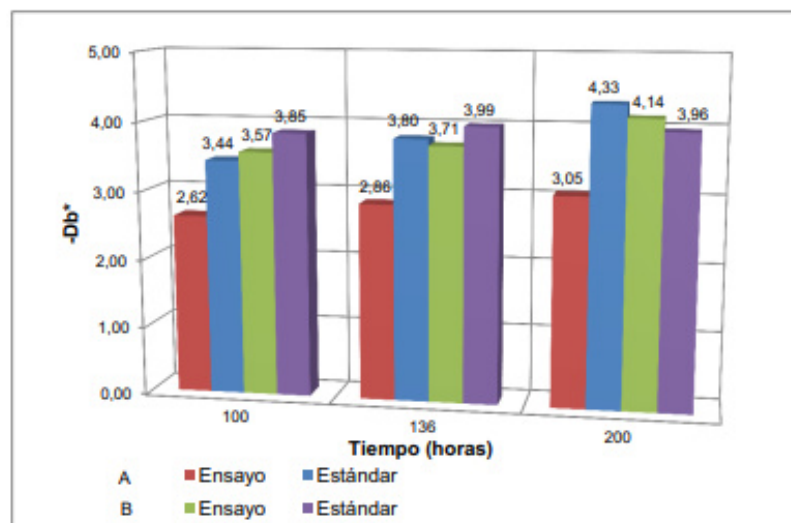


Figura 3.12. Pérdida de color para los sistemas de pintura A y B

En cambio, en los sistemas de pintura B, desde las primeras horas de exposición a la lámpara de arco de xenón, la pérdida de color de los sistemas estándar y ensayo analizados, es casi similar, la diferencia entre sus resultados experimentales es prácticamente despreciable.

Anteriormente se señaló que una diferencia menor a 0,5 es posible aceptarla como el mismo resultado. En consecuencia, ambos sistemas se decoloran igual, bajo similares condiciones de exposición. Por tanto, el oscurecimiento y decoloración que estos sistemas de pintura mostraron, posiblemente fue resultado

de la poca estabilidad y sensibilidad de los pigmentos de cromo a la luz UV en este ensayo acelerado (Weldon, 2009; Palet, 2002).

Los sistemas estándar y ensayo, mostraron un comportamiento similar. Es probable que para evidenciar las cualidades de alta resistencia a la degradación de los pigmentos con recubrimiento superficial de los sistemas ensayo sea necesario simular el efecto de otros factores medioambientales en la realización de este ensayo acelerado. La radiación UV emitida por la lámpara de arco de xenón no solo afecta al pigmento, si no también a la resina poliuretánica. Esta afirmación será comprobada más adelante en análisis de espectroscopia de Infrarrojos.

3.4.3. ENSAYOS COMBINADOS

Los ensayos acelerados combinados consistieron, en primer lugar, en someter a los sistemas de pintura A y B, tanto estándar como ensayo, al ensayo de cámara de niebla salina por 348 horas para luego ser expuestos al ensayo de cámara de arco de xenón por un período de 200 horas.

El ensayo de cámara de niebla salina aparentemente no influye en el desempeño de los revestimientos de este estudio. A continuación se presentan los resultados de pérdidas de luminosidad y de color que este ensayo combinado provocó en los sistemas de pintura poliuretánicos.

La Figura 3.13 muestra la variación de la coordenada L^* , establecida como pérdida de luminosidad ($-DL^*$) para los sistemas de pintura A y B, estándar y ensayo, conocidos como amarillo limón y amarillo medio, respectivamente, en el ensayo acelerado combinado.

En el análisis de la información de los sistemas A, el oscurecimiento que muestra el sistema estándar prácticamente no varía a partir de las primeras 100 horas de exposición.

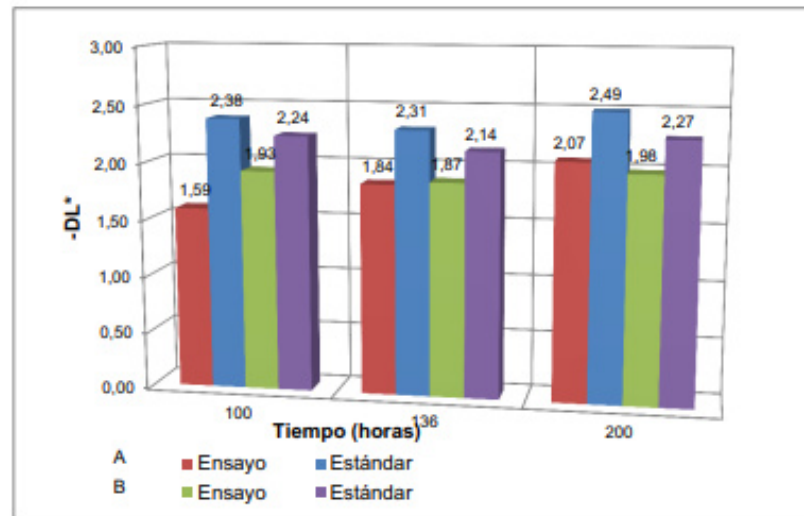


Figura 3.13. Pérdida de luminosidad para los sistemas de pintura A y B

Similar comportamiento evidencia el sistema ensayo. Puesto que las diferencias entre sus resultados experimentales son menores a 0,5, se presume que la pérdida de luminosidad de ambos sistemas es similar, bajo iguales condiciones de exposición.

Por otra parte, en los sistemas B, tanto el sistema estándar como el sistema ensayo se oscurecen en un porcentaje similar que aparentemente no varía desde las primeras horas de exposición hasta el final del ensayo. Por tanto, es posible suponer que este ensayo acelerado combinado les afecta de igual manera.

Adicionalmente, la Figura 3.14 muestra la variación de la coordenada b^* amarillo-azul, establecida como pérdida de color ($-D_b^*$) para los sistemas de pintura A y B, "estándar" y "ensayo", en el ensayo acelerado combinado.

En el análisis de los sistemas A, el sistema estándar y el sistema ensayo sufren una pérdida de color en las primeras 100 horas de exposición que prácticamente no varía en el resto del tiempo del análisis. En cambio, en el estudio de los sistemas B es posible afirmar que la pérdida de color que muestra el sistema estándar no varía durante el periodo total del ensayo acelerado combinado.

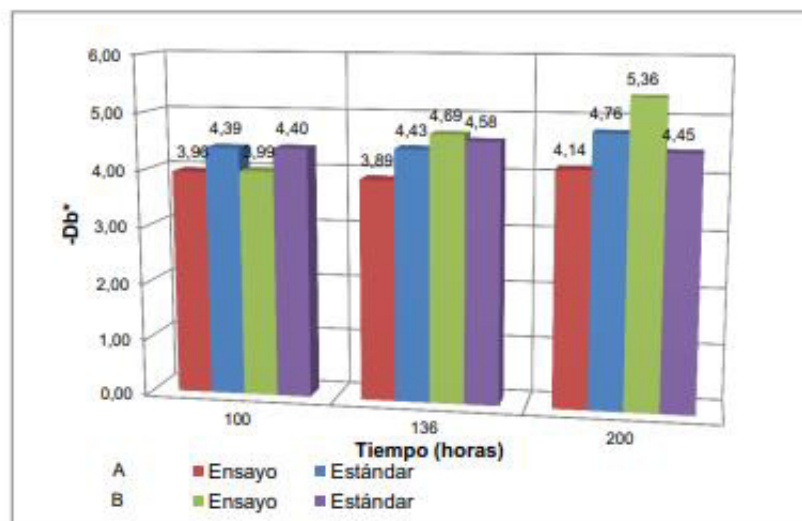


Figura 3.14. Pérdida de color para los sistemas de pintura A y B

Por el contrario, la decoloración que evidencia el sistema ensayo aparentemente es mayor y progresiva. Sin embargo, es importante señalar que esta placa por la combinación con el ensayo acelerado de cámara de niebla salina presentó corrosión en los bordes.

Es probable que ciertas manchas en la superficie de la probeta pudieran ocasionar interferencias en el momento de realizar el análisis. Además, puesto que la diferencia entre los datos experimentales de los sistemas de pintura A y B, tanto estándar como ensayo, es menor a 0,5, se podría suponer que estos sistemas exhiben comportamientos similares frente a los ensayos combinados.

3.5.COMPARACIÓN RESULTADOS ENTRE ENSAYOS DE CAMPO Y ENSAYOS ACELERADOS

Este análisis de resultados pretende establecer una comparación entre los comportamientos que presentan los sistemas de pintura A y B, estándar y ensayo, conocidos como amarillo limón y amarillo medio, respectivamente, expuestos en

los ensayos de campo por un período de cuatro meses y en los ensayos acelerados de cámara de arco de xenón durante 200 horas de exposición.

Los resultados del ensayo acelerado de cámara salina no fueron considerados puesto que como se indicó en el ítem 3.4.1, los sistemas de pintura sometidos a este ensayo prácticamente no mostraron variación de color o luminosidad en las 348 horas de exposición.

La Figura 3.15 y Figura 3.16 muestra la variación de la coordenada L^* y la variación de la coordenada b^* , establecidos como pérdida de luminosidad ($-DL^*$) y pérdida de color ($-Db^*$) respectivamente, de los sistemas de pintura estudiados, expuestos en la Estación de Tumbaco y en la cámara de arco de xenón.

De acuerdo con la información de los gráficos, se observa que los sistemas de pintura A y B, tanto estándar como ensayo, en el ensayo de cámara de arco de xenón simulan en menor proporción el oscurecimiento y la decoloración que muestran dichos sistemas en la Estación de Tumbaco.

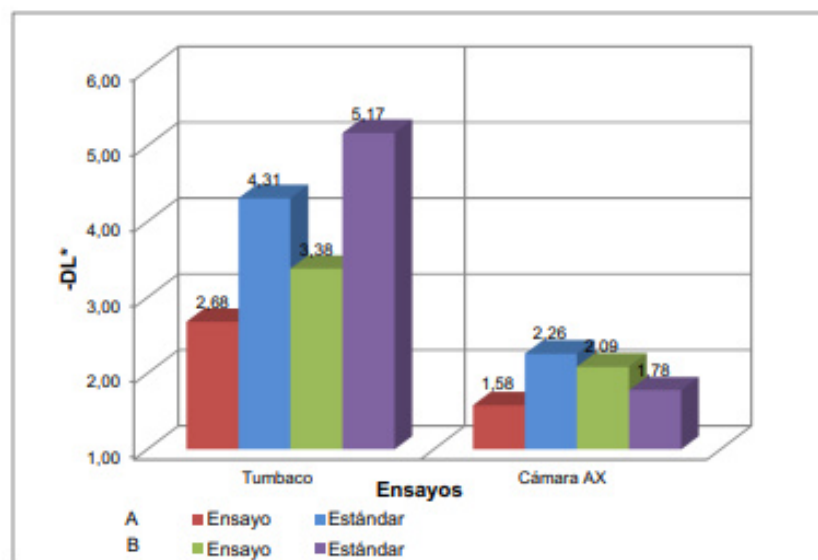


Figura 3.15. Pérdida de luminosidad de sistemas de pintura expuestos en Tumbaco y a cámara de arco de xenón

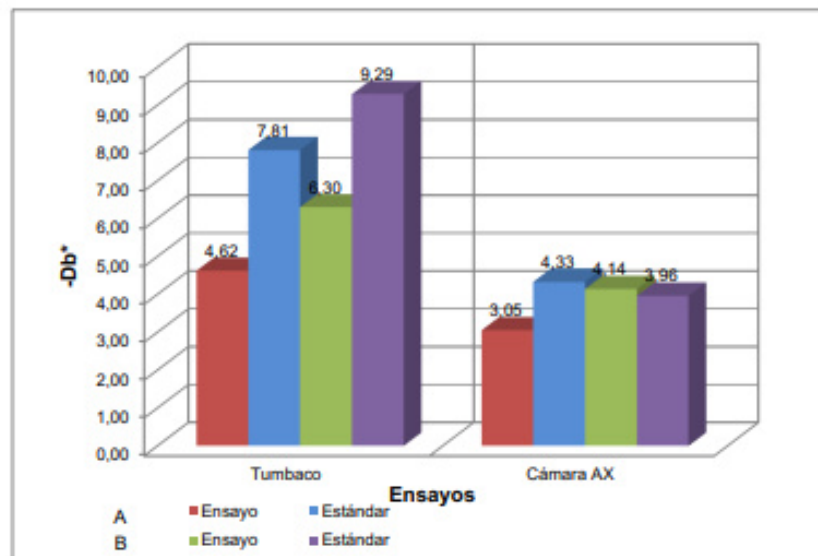


Figura 3.16. Pérdida de color de sistemas de pintura expuestos en Tumbaco y a cámara de arco de xenón

La diferencia entre los resultados experimentales de los sistemas poliuretánicos en el ensayo acelerado de arco de xenón es menor a 0,5, lo cual permite aceptar que los sistemas presentan igual desempeño frente a la radiación UV.

Es posible que aumentar tiempo de exposición a este ensayo acelerado pueda representar de manera más acertada el comportamiento que exhiben los cuatro sistemas de pintura en la Estación Tumbaco.

Además, se aprecia que los sistemas estándar y ensayo mostraron comportamientos similares en el ensayo acelerado de cámara de arco de xenón.

Es probable que para evidenciar las cualidades de alta resistencia a la degradación de los pigmentos de los sistemas ensayo sea necesario realizar ensayos acelerados combinados, en donde, inicialmente se someta a los sistemas de pintura a los efectos de la radiación UV por parte de la cámara de arco de xenón para posteriormente someterlos a factores como lluvia y humedad en la cámara de niebla salina.

3.6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS

El presente estudio muestra los espectros de infrarrojos de los sistemas de pintura A y B, tanto estándar como ensayo, con exposición en la Estación de Tumbaco y los espectros de infrarrojos de los sistemas expuestos en la cámara de arco de xenón.

El ensayo acelerado de cámara salina prácticamente no influyó en el comportamiento de los sistemas de pintura, motivo por el cual no fueron analizados los espectros de infrarrojos de los sistemas sometidos a este ensayo.

Mediante el análisis de espectroscopia de infrarrojos, fue evaluada la degradación que sufrieron los sistemas poliuretánicos estudiados, de acuerdo con la variación de la intensidad de las bandas de los grupos funcionales más importantes tales como: $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$ y los carbonilos de uretano, así como su banda característica.

La resina polimérica, señalada en el ítem 2.2.2, de los cuatro sistemas de pintura es la misma.

La Figura 3.17 muestra el espectro de la resina del sistema de pintura A estándar sin exposición al exterior, denominado blanco, el cual será empleado como referencia en el análisis de la degradación de los sistemas de pintura poliuretánica (Anexo I).

A continuación se señalan las bandas características de los grupos funcionales más importantes y su ubicación:

- Grupo $-\text{OH}$: 3392.52 cm^{-1}
- Grupo $-\text{CH}_3$: 2925.51 cm^{-1}
- Grupo $-\text{CH}_2$: 2852.33 cm^{-1}
- Grupo Carbonilo $\text{C}=\text{O}$: 1724.72 cm^{-1}

Anexos fundamentación teórica

Anexo 4: Pintura automotriz

Weldon, D., 2009, "Failure Analysis of Paints and Coatings", Editorial Wiley, Pensilvania, USA, (pp. 96-108).

beneficial effect of lowering cure temperature, in some cases they can compromise the durability of the cured coatings. This is because, in addition to cross-linking between hydroxyl groups and MF resins, cross-linking can also occur between carboxylic acid groups on the acrylic and hydroxyl or ether groups on the MF resin. This results in the formation of an ester linkage, which can subsequently degrade by hydrolysis. This hydrolytic degradation can be catalyzed by the residual acid left in the film.

Thermoset acrylic/MF coatings can be formulated that have wide variations in properties, since their final characteristics are derived not only from the specific acrylic and MF resins, but from the type and amount of catalyst, pigmentation, and even curing conditions. Properly formulated and cured coatings have excellent adhesion and chemical resistance, along with superior weathering and ultraviolet light resistance. It is not surprising that they are so widely used in automotive topcoats. They are also used as appliance coatings and as coil coatings.

Potential problems with acrylic/MF coatings include poor application properties if the coatings are near or beyond their storage lives, and potential susceptibility to hydrolysis if too much residual acid catalyst remains in the cured films. Other problems are related to cure problems. Too low a cure can result in unexpectedly soft coatings with low cross-link density and poor chemical and physical properties. Too high a bake can result in brittle coatings and even yellowing.

There are numerous, competing reactions occurring simultaneously when an acrylic-MF coating is curing. The two most obvious competing reactions are that of the acrylic-MF reaction and the self-condensation of the MF resin with itself. Typically, the stoichiometry and catalyst package is optimized for a certain time and temperature. If the actual curing conditions are different, the relative rates of the reactions may change, thus resulting in coatings with less than optimum properties.

BF resins are also commonly used to cross-link with acrylics. Because there are only two $-NH_2$ groups per molecule versus three on an MF resin, their cross-link density will be less. Coatings prepared with BF resins have better alkali and detergent resistance than those prepared from MF resins. They are poorer, however, in terms of their exterior durability. Acrylic resins can also be cross-linked with isocyanates. Coatings produced in this fashion, however, are considered as urethanes, and their chemistry will be discussed below in Section 5.9.

5.8 POLYESTERS

Polyesters are polymers obtained by reacting multifunctional acids or anhydrides with multifunctional alcohols (polyhydric alcohols) to form a polymeric backbone containing ester groups. In this sense, they are similar to alkyds, but without the extra modification due to natural oils. This results in resins or polymers that have a much simpler structure than that of an alkyd.

As a consequence of the lack of oil modification, polyesters do not contain the fatty acid characteristic of alkyds. The acids used in the manufacture of polyester resins do not contain conjugated double bonds. Since these double bonds are the sites for oxidative cross-linking (curing) of alkyd resins, it is apparent that polyester resins must rely on a different curing mechanism than an alkyd. The curing mechanism largely depends on whether or not the polyester resin is saturated or unsaturated. It is convenient to regard polyesters as falling into one of these two classes.

5.8.1 Saturated Polyesters

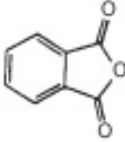
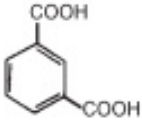


With the obvious difference that there is no oil modification, saturated polyesters are manufactured much like alkyds. They can be produced from a large number of di- and/or polyfunctional alcohols and acids. Some of the commonly used starting ingredients are shown in Tables 5.3 and 5.4.

Polyester resins equal, or perhaps even surpass, acrylic resins in their ability to be molecularly engineered. With such a large number of combinations of starting materials, polyesters can be produced with a wide range of chemical and physical properties. The characteristics of polyesters can be affected by the resin

Table 5.3 Structures of some common polyols used in the production of polyesters.

Polyol	Structure
Neopentyl glycol	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HOCH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Trimethylol propane	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$
Pentaerythritol	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{HOCH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$
1,6-Hexanediol	$\text{HO} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{OH}$

Table 5.4 Structures of some common acids used in the production of polyesters.

Acid	Structure
Phthalic anhydride	
Isophthalic acid	
Adipic acid	
Azelaic acid	

used to cross-link them. Therefore, one can see the danger in carelessly 'lumping' all polyesters together.

The type of alcohol, type of acid, stoichiometry and reaction conditions determine the properties of the polyester resin. Four of the most important characteristics are molecular weight, type of end groups, degree of branching and choice of monomers.

Like any other solution resin, viscosity is a function of molecular weight and, therefore, so is the VOC. Most polyester resins have relatively low molecular weights, typically in the 5000–10000 range.

Resins produced by reacting a diol, such as ethylene glycol, with a diacid, such as isophthalic acid, are linear. If a trifunctional (or higher) ingredient is used, branching will occur. Branched polymers are usually of higher viscosity than linear polymers of comparable molecular weight, and also ultimately result in cross-linked films of greater density and chemical resistance, and less flexibility and impact resistance. All other things being equal, a polyester containing a high level of pentaerythritol (hydroxyl functionality of 4) will result in a much harder, more chemically resistant coating than one based on 1, 6-hexanediol. The latter will perform much better where flexibility and impact resistance are required.

The distance between the functional groups also has an effect on the final properties of the coating. Polyesters prepared from succinic acid, where the acid groups are separated by only two carbon atoms, will be less flexible than those prepared from azelaic acid, with five carbon atoms separating the acid groups.

Since polyesters contain ester groups in their backbone, they are susceptible to alkaline hydrolysis (saponification) in the same way as alkyds. However,

they have generally been found to be more resistant to hydrolysis than alkyds.

At least in some cases this increased resistance appears to be due to steric effects, which slow down the rate of the hydrolysis reaction [6]. For example, polyesters produced from neopentyl glycol would be expected to be more resistant to hydrolysis than those produced from 1, 6-hexanediol.

Saturated polyester resins have no mechanism to cure, and therefore coatings prepared from them utilize cross-linking resins such as MF resin, BF resin or epoxy resin. Polyesters designed to cross-link with MF or BF resins are made by starting with an excess of polyol, such that the terminal end groups have hydroxyl functionality, while those designed to cross-link with epoxies utilize an excess of acid to impart carboxylate functionality.

The cross-linking reaction of a hydroxyl-terminated polyester with an MF or BF resin is much the same as that of the hydroxyl-functional acrylics previously discussed. Acidic catalysts are usually used, and baking temperatures are typically in the 250–300 °F (121–149 °C) range. The characteristics imparted by the MF or BF resin are similar to those imparted to the acrylic resins discussed above in Section 5.7.3.

Polyesters produced with carboxylic acid end groups can cross-link at the oxirane (see Figure 1.1) site in epoxy resins. This reaction is somewhat more sluggish than the hydroxyl–MF reaction, and temperatures closer to 400 °F (204 °C) are needed.

Coatings produced from saturated polyesters find a wide range of uses, such as flexible coil stock, can coatings, automotive base coats, appliance coatings, metal furniture coatings and exterior metal siding. For many applications, except those where aesthetics are highly desirable, polyesters can be formulated and applied as powder coatings.

It is also possible to formulate water-based saturated polyester coatings. This is achieved by using carboxylic acid-terminated polyesters, which are neutralized with volatile amines to make them water dispersible. Again, they are cross-linked and baked with appropriate curing agents. Unsaturated polyesters can also be reacted with isocyanates to form urethanes.

Aside from any problems associated with inadequate cleaning or pretreating of the metallic substrates to which these coatings are applied, potential problems include misformulation and curing errors.

Actual misformulation, especially where the end use of the product is known, should be rare. There is always the chance that a batching error can occur. Sending a product out the door with only half of the amount of MF resin will result in a final product with poor durability and inferior chemical resistance.

With any product that requires baking, cure should be one of the first things considered when a coating failure occurs. It is not uncommon for manufacturers to use ovens whose temperatures are not well monitored, or where the equipment used to monitor the temperature are not regularly calibrated. Variations in line speed can also affect cure.

5.8.2 Unsaturated Polyesters

Unsaturated polyester resins may be prepared by using an unsaturated acid in place of some of the saturated acid. Typically, the acids used are maleic anhydride (Figure 5.33) or fumaric acid (Figure 5.34). When the maleic anhydride ring opens, such as upon reaction with water, maleic acid is formed, which is simply the *cis*-isomer of fumaric acid.

In theory, numerous diacids and diols can be used to make unsaturated polyester resins. In practice, the predominant choices are isophthalic acid, maleic anhydride or fumaric acid, and propylene glycol. Polyesters made with fumaric acid tend to be harder than those made from maleic anhydride. More flexibility can be imparted by substituting an aliphatic acid such as adipic acid for some of the isophthalic acid. In some cases, resins are made using epoxy materials for part of the diol component.

Unsaturated polyesters cure by free radical polymerization at the double bond sites. It is common to use peroxides, such as benzoyl peroxide or MEK peroxide, along with a promoter such as cobalt naphthenate, to initiate and catalyze the free radical reaction. It is also common to use styrene as a reactive dilutant. Styrene is a good solvent for the polyester, and by virtue of its double bond is also a co-reactant with it. It enables coatings to be formulated at near-zero VOC levels.

Oxygen can inhibit free radical reactions by reacting with radicals and by essentially 'capping' the reaction. This 'air inhibition' occurs at the surface of the coating, thus leaving it tacky. One way to overcome this is by formulating a small amount of wax into the coating. The wax will migrate to the surface and partially seal it off from oxygen. Other additives can also be used to reduce air inhibition.

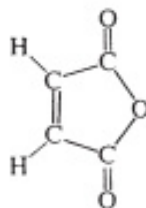


Figure 5.33 Structure of maleic anhydride.

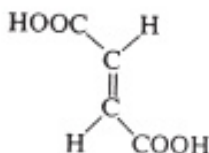


Figure 5.34 Structure of fumaric acid.

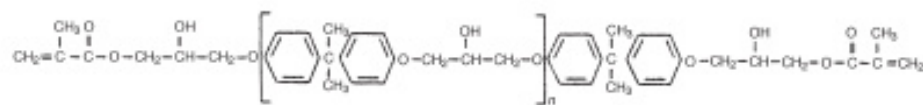


Figure 5.35 Structure of a vinyl ester.

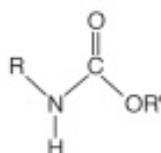


Figure 5.36 Structure of a urethane.

Unsaturated polyesters are much more common in the fiberglass industry than in the coatings industry. As coatings, they are often used in radiation-cured systems, where ultraviolet lamps or electron beam sources replace peroxide as initiators of free radicals. They are also used as high-build linings in severe chemical exposures, such as the interior of chemical storage vessels. In such uses they are often applied by plural spray equipment because of their very short pot lives once catalyzed. Chopped fiberglass may also be one of the ingredients of such coatings. The fiberglass imparts added strength, reduces permeability and allows for high-build applications.

Related to the unsaturated polyesters are the vinyl esters, which could perhaps be more appropriately considered as acrylics. These are typically formed by reacting acrylic acid or methacrylic acid with an epoxy. A typical structure is shown in Figure 5.35.

The only ester groups on these resins are at the end, thus giving them better hydrolytic stability than the typical unsaturated polyester coatings. Like the unsaturated polyesters, they cure by free radical polymerization initiated by peroxide catalysts and also contain styrene as a reactive diluent.

The vinyl esters and unsaturated polyesters typically impart considerable shrinkage stress and are very stiff. Surface cleanliness and surface roughness are thus very important in achieving good adhesion.

5.9 POLYURETHANES

Polyurethanes are one of the most versatile of all coatings, ranging from relatively simple lacquer-type coatings through high-performance automotive coatings to high-build chemically resistant elastomeric linings. They are usually formed by reacting an alcohol (R-OH) with an isocyanate (R-NCO) to form the urethane, or carbamate, structure shown in Figure 5.36.

Like epoxies, they usually consist of two components which must be mixed together shortly before application. One component typically contains a polyol, while the other contains the isocyanate.

The isocyanate group is highly reactive, and di- or polyfunctional isocyanates can be used to cross-link any number of resins that have functional groups containing active hydrogens. Although hydroxyl-functional resins are the mainstay of the industry, isocyanates can also react with aliphatic and aromatic primary amines, phenolics, carboxylic acids, secondary amines, ureas and water. Not all of these reactions result in the formation of urethane linkages, and hence the coatings are technically not urethanes. The classic example of this confusing nomenclature is the so-called 'moisture-cured urethane', which is not a urethane at all but is actually a polyurea.

When a diol is reacted with a diisocyanate, a linear polymer results, based on a backbone of urethane linkages. If water is present, it can react with the isocyanate to form a carbamic acid (Figure 5.37). The carbamic acid is not stable and readily decomposes to form an amine and carbon dioxide. Since amines are very reactive towards isocyanate groups, they will react to form a disubstituted urea (Figure 5.38).

Although the reaction of an isocyanate with water is slower than the reaction of an isocyanate with a primary hydroxyl group, the rate of reaction of isocyanates with primary amines is faster than the corresponding isocyanate–primary hydroxyl reaction. However, the relative reaction rate can change with different concentrations, temperatures and catalysts, which makes the study of such coatings all the more complicated (and interesting).

Once the disubstituted urea is formed, it is possible for the diversity to continue, as urea can also react with isocyanates, to form biurets (Figure 5.39).

The above reactions all occur at room temperature, and can be accelerated by the use of catalysts such as tertiary amines and organotin compounds (specifically dibutyltindilaurate). Isocyanates can also react with carboxylic acids, but at elevated temperatures, to form amides.

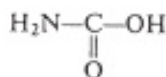


Figure 5.37 Structure of carbamic acid.

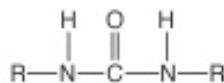


Figure 5.38 General structure of a disubstituted urea.

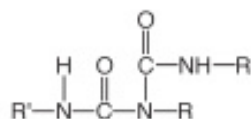


Figure 5.39 General structure of biuret.

The isocyanates used in coatings are usually divided into two types, namely, aromatic and aliphatic. The most commonly used ones are shown in Table 5.5.

Two of the major disadvantages of isocyanates are their toxicity and their volatility. It is common practice to use higher-molecular-weight versions. Thus, both 2,4-toluene diisocyanate (TDI) and 1,6-hexamethylene diisocyanate (HDI) are commonly used as their trimers, which are called isocyanurates. Another way to minimize the problem is to use isocyanate 'pre-polymers', made by reacting excess isocyanate with a polyhydroxy compound. Depending on the polyol used, polyurethanes based on aromatic isocyanates such as TDI and MDI can be formulated to produce hard coatings with excellent chemical and heat resistance. Unfortunately, a weakness of polyurethanes based on aromatic isocyanates is their strong tendency to discolour and chalk upon exposure to sunlight.

Polyurethanes based on aliphatic isocyanates, such as HDI and isophorone diisocyanate (IPDI), are greatly superior to the aromatics in terms of weathering resistance, and also have excellent chemical resistance. They are somewhat slower to cure than the aromatics, however, and are more expensive.

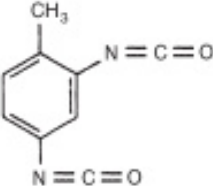
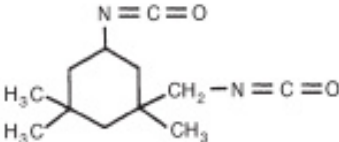
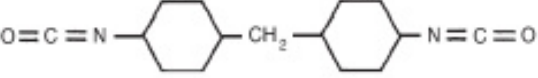
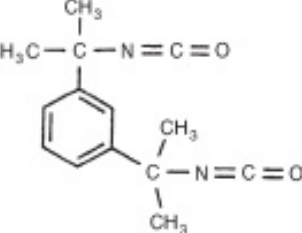
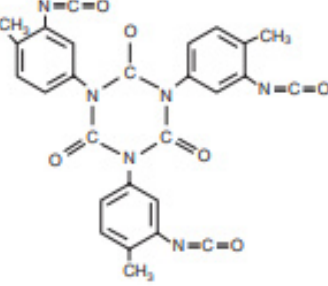
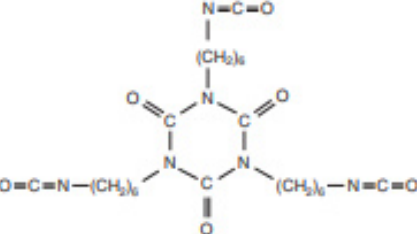
5.9.1 Two-Component Polyisocyanate/Polyol Coatings

The most common type of urethane coatings are the two-component, solvent-borne variety, where one component consists of a polyisocyanate and the other a polyol. The pigmented component usually contains the polyol, where trace amounts of moisture coming from the pigments have no effect on shelf life. Both aliphatic and aromatic isocyanates are used, with the former imparting significantly better colour retention and weathering resistance. The most common types of polyols are hydroxyl-functional acrylics, polyesters and polyethers.

Hydroxyl functionality is typically imparted to acrylics by incorporating a certain amount of 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) into the monomer blend. HEMA provides primary hydroxyl groups for rapid cross-linking with the isocyanate. Occasionally, 2-hydroxypropyl methacrylate is used. The secondary hydroxyl functionality has the disadvantage of a slower reaction rate with the isocyanate, but the concomitant advantage of longer pot life.

The molecular weight of the acrylic resins used in urethane coatings is usually fairly low, of the order of perhaps 25000. This is quite low when compared to a conventional single-pack acrylic lacquer, but the molecular weight of the final,

Table 5.5 Structures of some common isocyanates used in the production of polyurethanes.

Isocyanate	Structure
2,4-Toluene diisocyanate (TDI)	
1,6-Hexamethylene diisocyanate (HDI)	$\text{O}=\text{C}=\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}=\text{C}=\text{O}$
Isophorone diisocyanate (IPDI)	
Diphenylmethane diisocyanate (MDI)	
<i>m</i> -Tetramethylxylene diisocyanate (TMXDI)	
Isocyanurate of toluene diisocyanate	
Isocyanurate of hexamethylene diisocyanate	

cross-linked film will be extremely high. The low molecular weight of the acrylic resin and of the isocyanate allows high-solids coatings of low to medium viscosity to be easily formulated.

As discussed above in Section 5.7, the variety of monomers allows for a wide latitude in the molecular engineering of acrylic resins. These same monomers are available for 'tailor making' acrylic-polyurethanes with various properties.

One critical factor, however, is the T_g of the final coating. It is desirable to have the T_g of the fully cured coating slightly below the curing temperature (which quite often is room temperature). The T_g of the coating will increase as its degree of cure increases. When the T_g of the partially cured coating becomes equal to or higher than the temperature at which the coating is curing, there will be a sharp decrease in the free volume. The polymer chains will have much less room in which to move, mobility will decrease and eventually cease, and it will not be possible for the reaction to reach completion. One way to avoid this is to cure the coating at an elevated temperature, but this is usually not possible for industrial maintenance coatings.

Hydroxyl-functional polyesters are also widely used in the manufacture of two-component polyurethanes. The chemistry and characteristics of hydroxyl-functional polyesters have already been discussed (see Section 5.8). As in the case of hydroxyl-functional acrylics, the polyesters used to make polyurethanes are of relatively low molecular weight. This allows for the formulation of high-solids, low VOC coatings. The same T_g consideration applies to polyester-polyurethanes as for acrylic-polyurethanes. The polyester-polyurethanes tend to permit higher-solids coatings with somewhat better adhesion to metals compared with the acrylics. The acrylics are often of lower cost, have superior exterior durability and are more resistant to hydrolysis.

Hydroxyl-functional polyethers are also used to make two-component polyurethanes. Since ether linkages are much less restrictive towards molecular rotation than many other functional groups, and since they tend not to have bulky side groups, polyether-polyurethanes tend to be very flexible, with much greater impact resistance than the much harder acrylic and polyester-polyurethanes. Their softness can make them unsuitable for many applications. However, they make superb, high-build elastomeric coatings and linings, and can survive relatively harsh environments.

Although acrylics, polyesters and polyethers are the most commonly used hydroxyl-functional resins used in two-component urethanes, they are not the only ones. Since alkyd resins have unreacted hydroxyl groups, they can also cross-link with isocyanates, as can epoxy resins through their secondary hydroxyl groups.

The two-component, solvent-borne urethanes have become perhaps the premier coating system for applications demanding excellent gloss and colour retention and good chemical resistance. Based on the above discussion, it is apparent that with the wide selection of available polyols and polyisocyanates, it is possible for the polymer chemist to produce urethane coatings that span a broad range of

chemical and physical properties. Despite their diversity, there are certain common features among the various urethanes relating to their mode of failure. This is especially true regarding their behaviour with water.

Isocyanates are very reactive and can react with water to form a disubstituted urea. The by-product of this reaction is carbon dioxide, which is a gas at room temperature. Not only does the reaction with water interrupt the designed curing pathway of the coating, resulting in unanticipated and often undesirable physical and chemical properties, but the escaping CO₂ can result in numerous voids in the interior of the cured coating. This 'Swiss cheese' effect can have serious consequences for the permeability and mechanical strength of the coating.

Water can come from many sources, including rain shortly after application, painting during periods of high humidity, using non-urethane-grade solvents which have small amounts of moisture, water in the paint lines and failure to properly seal containers after opening. If the water is present on the substrate as a consequence of a dew point inversion, not only will voids result but likely poor adhesion as well. In order to help guard against the possibility of moisture damaging the curing coating, most urethanes are formulated with a slight excess of isocyanate. Ratios of isocyanate to hydroxyl of 1:1 to 1:0 are common.

It is not unheard of in the paint industry for a contractor to thin the coating with the wrong solvent. More often than not, this usually has only minor consequences. However, if a two-component urethane is thinned with a solvent containing an alcohol, the monofunctional alcohol will react with the isocyanate and stop the cross-linking process. The consequences will depend on how much alcohol was used, but could be disastrous.

As with any two-component coating, there is always the possibility of a mixing error. Because of the complexity of the various reactions that can occur in a curing urethane, it is not always possible to predict exactly how a certain mixing error will affect the properties of the coating. However, an excess of polyol will nearly always result in a softer coating. This is because there are no side reactions for the polyol to undergo, and it will act as a plasticizer.

In industrial maintenance applications, two-component urethanes are often used as finish coats over epoxy intermediate coats. While not a urethane problem *per se*, they (and other coatings) can be very sensitive towards even small quantities of chalked coating on the surface of the epoxy. In some cases, this extremely thin layer of chalked epoxy, which can sometimes form as quickly as a week or two, can cause peeling of the urethane topcoat from the epoxy.

5.9.2 Urealkyds

Urealkyds, also called urethane alkyds, should not be confused with the two-component urethanes formed by the reaction between an isocyanate and the hydroxyl groups on an alkyd resin. Rather, they are basically modified alkyds where some of the phthalic anhydride is replaced with an isocyanate such as TDI.

Urealkyds are single-component coatings that typically dry faster and harder than conventional alkyds. They also have improved abrasion resistance and resistance to hydrolysis. Unfortunately, they are more expensive and, because of the use of the aromatic TDI, have inferior colour retention. The latter can be improved through the use of aliphatic isocyanates, but at even greater cost. They cure by the same process as alkyd resins, and therefore must be formulated with the same types of driers used in alkyds.

Urealkyds are largely used as varnishes, although technically they are not true varnishes. They are often used as clear varnishes on wood, where hardness and abrasion resistance is important.

5.9.3 Moisture-Cured Polyurethanes

Oddly enough, although water is considered a contaminant with conventional two-component polyurethanes, it is the primary cross-linking agent, along with the isocyanate, in moisture-cured polyurethanes. The source of the water is atmospheric moisture, and the polymer obtained is not a polyurethane, but rather a polyurea.

In the case of a two-component acrylic or polyester urethane, the bulk of the final, cured film is made up of the acrylic or polyester starting material, which initially may have had a molecular weight of 15 000–25 000. However, the hydroxyl 'analogue' to the polyester or acrylic is simply water, with a molecular weight of only 18. Therefore, viable coatings cannot be made simply by reacting water with the same relatively low-molecular-weight isocyanates used in conventional two-pack coatings.

The isocyanates used in moisture-cured urethanes are resins which have two or more isocyanate groups per molecule. They are generally made from hydroxyl-terminated polyesters reacted with an excess of a 'conventional' isocyanate such as TDI or MDI, or with an aliphatic isocyanate if colour retention is important. It is unavoidable that there are also a certain number of urethane linkages formed.

The coatings are single-component products, and when applied cure by reacting with atmospheric moisture. The rate of cure is humidity dependent. Below approximately 30% relative humidity, the cure is rather sluggish, and above 80%, the rate of carbon dioxide evolution from the curing reaction is rapid enough to generate bubbling in the coating. Therefore, humidities in the 30–80% range are preferred.

One of the main advantages of moisture-cured urethanes is the fact that they are single-component products. This saves time for the contractor and eliminates 'mis-mixing' as a potential cause of failure.

Other advantages include the ability of these products to be applied over slightly damp surfaces, rapid cure and a final coating which is hard, tough, somewhat flexible, and which has good adhesion to metal and good chemical resistance. Their light stability is variable, depending to a large degree on the type of isocyanate used.

One of the obvious disadvantages of moisture-cured urethanes is their sensitivity to moisture. They are often packaged under a blanket of nitrogen, and once opened must be used within a few days to avoid gelation. Great care must also be taken in the selection and handling of pigments, since many pigments contain trace amounts of water which can be detrimental to storage stability.

Another potential disadvantage of moisture-cured urethanes is bubbling caused by rapid CO₂ generation under conditions of high humidity. This problem is exacerbated at higher film builds. If high film build is desired, it is sometimes necessary to apply several thin coats.

As was the case with conventional two-component urethanes, alcohols must not be introduced into the coating. If such thinner is used, the alcohol will react with the isocyanate groups and severely interfere with the curing reaction.

5.9.4 Polyurethane Lacquers and Dispersions

Single-component, solvent-based polyurethane lacquers and single-component polyurethane dispersions in water are also available. The lacquers are simply thermoplastic, high-molecular-weight linear polymers prepared by reacting diols with diisocyanates. They are low-solids coatings that dry by solvent evaporation, and are used on flexible substrates such as fabrics and leather.

The polyurethane dispersions are essentially urethane latexes, and various methods are employed in their manufacture. They cure by the same process of water evaporation and coalescence as typical acrylic latex.

5.9.5 Two-Component Water-Borne Polyurethanes

Because of increasingly stringent VOC regulations, two-component, water-borne polyurethanes have been recently introduced. The problems in making such a coating are obvious, since the solvent (water in this case) can react with the isocyanate component. Several approaches have been utilized. These include the use of a blocked isocyanate and the preparation of a polyurethane polyol which is either emulsified in water by using surfactants or is made water reducible by incorporating some carboxylic acid functionality into the polymer and subsequently forming salts via the addition of a volatile amine.

Prior to application, the water-borne polyol component is mixed with a compatible isocyanate, which is not water-borne. The isocyanate then diffuses into the polyol phase, where it is essentially emulsified by the polyol and subsequently cross-links it.

Although the isocyanate reacts faster with the polyol than with the bulk water phase, it is apparent that the water must consume at least some of it. Therefore, NCO:OH ratios approaching 2:1 are often used to make up for this. The relative

Anexo 5: Componentes de la pintura

Alonso Felipe, J. V. (2016). *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización*. UPM ETSI. Pp. 5-6

5

DEFINICIONES BÁSICAS Y COMPONENTES DE UNA PINTURA.

Cuando se habla de recubrimientos nos referimos a pinturas, temple, barnices, esmaltes, lacas, imprimaciones, incluso recubrimientos electrolíticos, que escapan de este campo.

Se puede definir una pintura líquida como una mezcla heterogénea de componentes que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua de espesor más o menos uniforme, sin pegajosidad al tacto y con las características o aptitud al uso con la que ha sido diseñada.

Los componentes de la pintura varían en gran manera en función del tipo de acabado que se requiera y de las condiciones de aplicación y secado.

La composición genérica de una pintura es la siguiente, aun cuando algunos tipos pueden no contener todos los ingredientes:

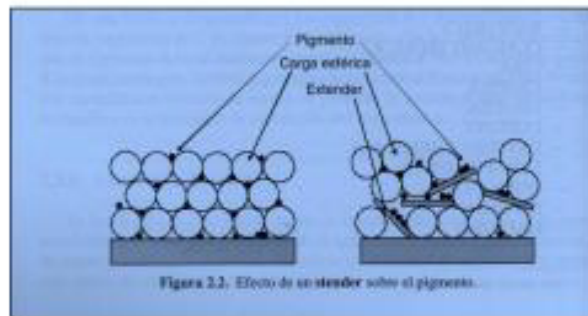
- **Ligante, resina, polímero o vehículo en algún caso.**
- **Cargas o fillers o componentes de relleno (no imperativo).**
- **Pigmentos.**
- **Disolvente o disolventes más o menos volátiles (Thinner) (no imperativo).**
- **Aditivos.**

El **ligante o resina** son productos cuya misión es la de mantener unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas, una vez esté seca la pintura. Los polímeros confieren a las pinturas las propiedades que definen los diferentes tipos de producto según su resistencia química, dureza, elasticidad, adherencia, viscosidad, secado, etc. Pueden ser acrílica, vinílica, poliéster, poliuretano, epoxi, etc.

También aceites vegetales y animales que en el proceso de secado por oxidación forman una película seca y uniforme.

Las cargas, extendedores o fillers son, en general de naturaleza inorgánica, aportan cuerpo, materia sólida, y dan estructura, viscosidad y reología a la pintura. También proporcionan espesor de capa, opacidad, propiedades anticorrosivas, etc. Las cargas son opacas cuando están secas pero son traslúcidas en estado húmedo. Cabe distinguir entre cargas propiamente dichas y los extendedores (*stenders*). Los primeros aportan materia sólida a la pintura, mientras que los segundos mejoran el rendimiento de los pigmentos cubrientes. También es preciso indicar que en función de la carga utilizada variará de forma ostensible la viscosidad, la reología el brillo y otras características del producto final. Otra cuestión importante es la diferencia entre los índices de refracción de la carga y el ligante utilizado, cuanto mayor es la diferencia mayor es el poder cubriente de la carga.

Las cargas son en general de geometría esférica, mientras que los *stenders* son de estructura laminar o acicular.



Los pigmentos son compuestos orgánicos e inorgánicos cuya función es proporcionar a la pintura color y poder cubriente. Los pigmentos son opacos tanto en seco como en húmedo. Un pigmento muy empleado es el bióxido de titanio de gran poder cubriente y alta solidez a la degradación ambiental en comparación con otros pigmentos blancos históricamente empleados.

Disolventes suelen ser el agua, alcoholes, cetonas, ésteres, aromáticos y otros productos de naturaleza orgánica que proporcionan a la pintura manejabilidad, aplicabilidad, etc. por medio de su control se varían propiedades como son viscosidad, consistencia, tiempos de secado, etc.

Los disolventes se utilizan además para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación. La utilización de disolventes que no disuelven al ligante es frecuente en la formulación de pinturas, se les denomina *co-solventes*.

Las dos características más importantes de los disolventes son su *poder solvente* (*índice kauri-butanol*) y *velocidad de evaporación* (*curva de evaporación*).

Aditivos: son productos que se dosifican en pequeñas cantidades para facilitar el proceso de fabricación de la pintura, aportar unas características concretas a la película de pintura seca, crear las condiciones adecuadas para que el secado se produzca de forma correcta y para estabilizar la pintura en el periodo de almacenamiento.

Dentro de este grupo de productos encontramos humectantes y dispersantes cuya función es facilitar el mojado de pigmentos y cargas y su posterior dispersión y estabilización; espesantes que se utilizan para conseguir una consistencia determinada; agentes reológicos para dar un comportamiento determinado a la pintura durante y después del proceso de aplicación, antioxidantes, gelificantes, anti-moho, antiespumantes, etc.

Anexo 6: Medidor de brillo

Medidores, J. G. D. (2017, 29 junio). Medidor de brillo PCE-GM 100. Recuperado 22 de octubre de 2022, de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-brillo/medidor-brillo-500mc.htm>



Medidor de brillo PCE-GM 100

medidor de brillo digital para detectar el brillo y brillo especular con puntos de medición de 20°, 60° y 85° (seleccionable)

El medidor de brillo sirve para medir sobre superficies planas y opera según el principio de un refractómetro. El sólido diseño y las prácticas dimensiones del medidor de brillo proporcionan grandes ventajas a la hora de medir in situ o en fábricas en las instalaciones de producción. La recalibración se efectúa de forma sencilla gracias a los dos estándares que se incluyen en el envío. De forma opcional puede obtener una calibración de laboratorio ISO con su certificado. Gracias a la selección de tres puntos de medición puede usar el medidor de brillo sobre casi todas las superficies. El manejo es muy sencillo. Si tiene alguna pregunta sobre medidor de brillo, consulte la ficha técnica a continuación o póngase en contacto con nosotros en el número de teléfono 902 044 604 para España, para Latinoamérica e internacional +34 967 513 695 o en el número +56 2 562 0400 para Chile. Nuestros técnicos e ingenieros le asesorarán con mucho gusto sobre este [medidor de brillo](#) y sobre cualquier producto de nuestros [sistemas de regulación y control](#), [medidores](#) o [balanzas](#) de PCE Ibérica S.L.



- Manejo muy sencillo
- Autorizado según las normativas: ISO 2813, GB 9754-88 / GB 9966.5
- Electrónica a través de un microcontrolador
- Gracias a los tres puntos de medición, el aparato es ideal para casi todas las superficies de materiales

Especificaciones técnicas

Rango de medición del brillo	0,0 ... 200 unidades de brillo / puntos de brillo
Resolución	0,1 puntos de brillo
Precisión	±1,2 puntos de brillo
Reproducibilidad	±0,4 puntos de brillo
Calibración / recalibración	automática a través de los estándares (incluidos en el envío)
Tipo de luz	A
Puntos de medición	selección de 20°, 60° o 85°
Dimensión estándar de calibración	95 x 40 mm
Pantalla	LCD con dígitos de 10 mm de altura

PCE Ibérica S.L. | Mayor 53 – Bajo | 02500 Tobarra (Albacete)
Tel: +34 967 543 548 | Fax: +34 967 543 542 | Email: info@pce-iberica.es
<http://www.pce-iberica.es/>





Detector
Superficie de medición
Condiciones ambientales
Alimentación
Dimensiones
Peso

fotodiodo de silicio
11 x 54 mm
0 ... 40 °C / 85% H.r.
batería de 1,5 V
145 x 38 x 80 mm
330 g

Contenido del envío
1 x medidor de brillo PCE-GM 100
1 x estándar de brillo
1 x batería
1 x maletín de transporte
1 x bayeta de limpieza
Instrucciones de uso



Componentes opcionales

Certificado y calibración ISO
Para empresas que deseen integrar su medidor de brillo en su control interno de calidad o que deseen enviarlo a su recalibración anual. El certificado según la normativa DIN ISO contiene una calibración y un certificado con los valores. También se indica en el informe el nombre y la dirección de la empresa o de la persona que lo pidió.



Aquí encontrará otros productos parecidos bajo la clasificación "Medidor de brillo":

- [Medidor de brillo PCE-GM 50](#)
(ideal para control de calidad de superficies pulidas o lacadas, geometría de 60 °)
- [Medidor de brillo IG - 310](#)
(ideal para control de calidad de superficies pulidas o lacadas, geometría de 60 °)
- [Medidor de brillo IG - 331](#)
(ideal para pruebas aleatorias, p.e. en la entrada de mercancías, geometría de 20 ° o 60 °)

Aquí encuentra usted una visión general de [todos los medidores](#) que le ofrece PCE Instruments.

PCE Ibérica S.L. | Mayor 53 – Bajo | 02500 Tobarra (Albacete)
Tel: +34 967 543 548 | Fax: +34 967 543 542 | Email: info@pce-iberica.es
<http://www.pce-iberica.es/>



Anexos materiales y métodos

Anexo 7: Normativa ASTM D523-14

ASTM D523-14. (2018astm). Standard Test Method for Specular Gloss.

<https://www.astm.org/d0523-14r18.html>

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D523 – 14 (Reapproved 2018)

Standard Test Method for Specular Gloss¹

This standard is issued under the fixed designation D523; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the measurement of the specular gloss of nonmetallic specimens for glossmeter geometries of 60, 20, and 85° (1-7).²

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

1.4 This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

D823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Coatings and Related Products on Test Panels

D3964 Practice for Selection of Coating Specimens for Appearance Measurements

D3980 Practice for Interlaboratory Testing of Paint and Related Materials (Withdrawn 1998)⁴

D4039 Test Method for Reflection Haze of High-Gloss Surfaces

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E12 on Color and Appearance and is the direct responsibility of Subcommittee E12.03 on Geometry.

Current edition approved May 1, 2018. Published May 2018. Originally approved in 1939. Last previous edition approved in 2014 as D523 – 14. DOI: 10.1520/D0523-14R18.

² The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

⁴ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

E97 Method of Test for Directional Reflectance Factor, 45-Deg 0-Deg. of Opaque Specimens by Broad-Band Filter Reflectometry (Withdrawn 1991)⁴

E430 Test Methods for Measurement of Gloss of High-Gloss Surfaces by Abridged Goniophotometry

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *relative luminous reflectance factor, n*—the ratio of the luminous flux reflected from a specimen to the luminous flux reflected from a standard surface under the same geometric conditions. For the purpose of measuring specular gloss, the standard surface is polished glass.

3.1.2 *specular gloss, n*—the relative luminous reflectance factor of a specimen in the mirror direction.

4. Summary of Test Method

4.1 Measurements are made with 60, 20, or 85° geometry (8, 9). The geometry of angles and apertures is chosen so that these procedures may be used as follows:

4.1.1 The 60° geometry is used for intercomparing most specimens and for determining when the 20° geometry may be more applicable.

4.1.2 The 20° geometry is advantageous for comparing specimens having 60° gloss values higher than 70.

4.1.3 The 85° geometry is used for comparing specimens for sheen or near-grazing shininess. It is most frequently applied when specimens have 60° gloss values lower than 10.

5. Significance and Use

5.1 Gloss is associated with the capacity of a surface to reflect more light in directions close to the specular than in others. Measurements by this test method correlate with visual observations of surface shininess made at roughly the corresponding angles.

5.1.1 Measured gloss ratings by this test method are obtained by comparing the specular reflectance from the specimen to that from a black glass standard. Since specular reflectance depends also on the surface refractive index of the specimen, the measured gloss ratings change as the surface refractive index changes. In obtaining the visual gloss ratings, however, it is customary to compare the specular reflectances of two specimens having similar surface refractive indices.

5.2 Other visual aspects of surface appearance, such as distinctness of reflected images, reflection haze, and texture, are frequently involved in the assessment of gloss (1), (6), (7). Test Method E430 includes techniques for the measurement of both distinctness-of-image gloss and reflection haze. Test Method D4039 provides an alternative procedure for measuring reflection haze.

5.3 Little information about the relation of numerical-to-perceptual intervals of specular gloss has been published. However, in many applications the gloss scales of this test method have provided instrumental scaling of coated specimens that have agreed well with visual scaling (10).

5.4 When specimens differing widely in perceived gloss or color, or both, are compared, nonlinearity may be encountered in the relationship between visual gloss difference ratings and instrumental gloss reading differences.

6. Apparatus

6.1 *Instrumental Components*—The apparatus shall consist of a light source furnishing an incident beam, means for locating the surface of the specimen, and a receptor located to receive the required pyramid of rays reflected by the specimen. The receptor shall be a photosensitive device responding to visible radiation.

6.2 *Geometric Conditions*—The axis of the incident beam shall be at one of the specified angles from the perpendicular to the specimen surface. The axis of the receptor shall be at the mirror reflection of the axis of the incident beam. The axis of the incident beam and the axis of the receptor shall be within 0.1° of the nominal value indicated by the geometry. With a flat piece of polished black glass or other front-surface mirror in the specimen position, an image of the source shall be formed at the center of the receptor field stop (receptor window). The length of the illuminated area of the specimen shall be not more than one third of the distance from the center of this area to the receptor field stop. The dimensions and tolerance of the source and receptor shall be as indicated in Table 1. The angular dimensions of the receptor field stop are measured from the receptor lens in a collimated-beam-type instrument, as illustrated in Fig. 1, and from the test surface in a converging-beam-type instrument, as illustrated in Fig. 2. See Fig. 1 and Fig. 2 for a generalized illustration of the dimensions. The

tolerances are chosen so that errors in the source and receptor apertures do not produce an error of more than one gloss unit at any point on the scale (5). The relative dimension is the calculated dimension related to the 60° receptor (=1.0000).

6.2.1 The important geometric dimensions of any specular-gloss measurement are:

6.2.1.1 Beam axis angle(s), usually 60, 20, or 85°.

6.2.1.2 Accepted angular divergences from principal rays (degree of spreading or diffusion of the reflected beam).

Note 1—The parallel-beam glossmeters possess the better uniformity of principle-ray angle of reflection, but the converging-beam glossmeters possess the better uniformity in extent of angular divergence accepted for measurement.

Note 2—*Polarization*—An evaluation of the impact of polarization on gloss measurement has been reported (11). The magnitude of the polarization error depends on the difference between the refractive indices of specimen and standard, the angle of incidence, and the degree of polarization. Because the specimen and standard are generally quite similar optically, measured gloss values are little affected by polarization.

6.3 *Vignetting*—There shall be no vignetting of rays that lie within the field angles specified in Table 1.

6.4 *Spectral Conditions*—Results should not differ significantly from those obtained with a source-filter photocell combination that is spectrally corrected to yield CIE luminous efficiency with CIE source C. Since specular reflection is, in general, spectrally nonselective, spectral corrections need to be applied only to highly chromatic, low-gloss specimens upon agreement of users of this test method.

6.5 *Measurement Mechanism*—The receptor-measurement mechanism shall give a numerical indication that is proportional to the light flux passing the receptor field stop with ±1 % of full-scale reading.

7. Reference Standards

7.1 *Primary Standards*—Highly polished, plane, black glass with a refractive index of 1.567 for the sodium D line shall be assigned a specular gloss value of 100 for each geometry. The gloss value for glass of any other refractive index can be computed from the Fresnel equation (5). For small differences in refractive index, however, the gloss value is a linear function of index, but the rate of change of gloss with index is different for each geometry. Each 0.001 increment in refractive index produces a change of 0.27, 0.16, and 0.016 in the gloss value assigned to a polished standard for the 20, 60, and 85° geometries, respectively. For example, glass of index 1.527 would be assigned values of 89.2, 93.6, and 99.4, in order of increasing geometry.

7.2 *Working Standards*—Ceramic tile, depolished ground opaque glass, emery paper, and other semigloss materials having hard and uniform surfaces are suitable when calibrated against a primary standard on a glossmeter known to meet the requirements of this test method. Such standards should be checked periodically for constancy by comparing with primary standards.

7.3 Store standards in a closed container when not in use. Keep them clean and away from any dirt that might scratch or mar their surfaces. Never place standards face down on a surface that may be dirty or abrasive. Always hold standards at

TABLE 1 Angles and Relative Dimensions of Source Image and Receptors

	In Plane of Measurement			Perpendicular to Plane of Measurement		
	θ	$\Delta \tan \theta/2$	Relative Dimension	θ	$\Delta \tan \theta/2$	Relative Dimension
Source image	0.75	0.0131	0.171	2.5	0.0436	0.568
Tolerance \pm	0.25	0.0044	0.057	0.5	0.0087	0.114
60° receptor	4.4	0.0768	1.000	11.7	0.2049	2.668
Tolerance \pm	0.1	0.0018	0.023	0.2	0.0035	0.046
20° receptor	1.8	0.0314	0.409	3.6	0.0629	0.819
Tolerance \pm	0.05	0.0009	0.012	0.1	0.0018	0.023
85° receptor	4.0	0.0698	0.909	6.0	0.1048	1.365
Tolerance \pm	0.3	0.0052	0.068	0.3	0.0052	0.068

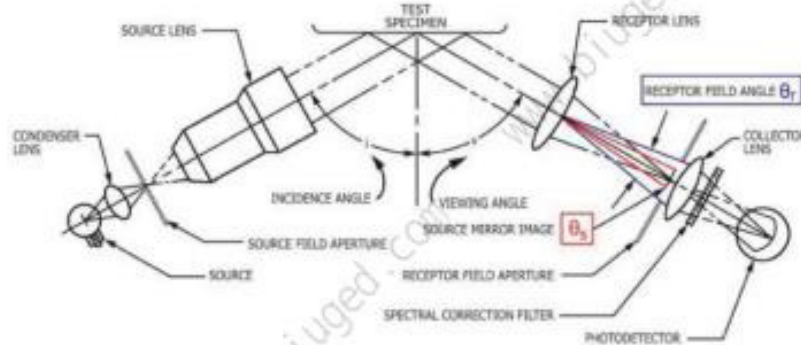


FIG. 1 Diagram of Parallel-Beam Glossmeter Showing Apertures and Source Mirror-Image Position

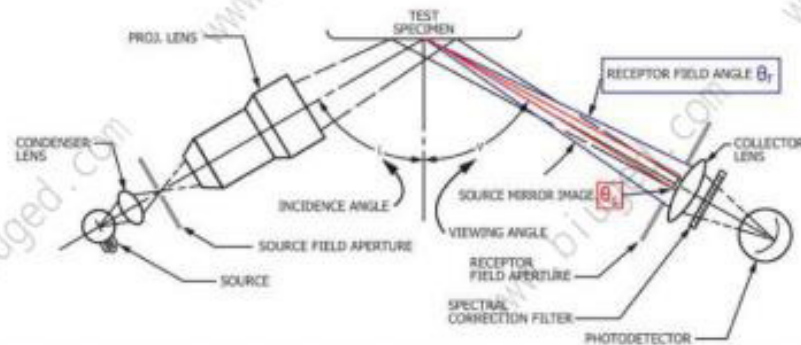


FIG. 2 Diagram of Converging-Beam Glossmeter Showing Apertures and Source Mirror-Image Position

the side edges to avoid getting oil from the skin on the standard surface. Clean the standards in warm water and a mild detergent solution brushing gently with a soft nylon brush. (Do not use soap solutions to clean standards, because they can leave a film.) Rinse standards in hot running water (temperature near 150°F (65°C)) to remove detergent solution, followed by a final rinse in distilled water. Do not wipe standards. The polished black glass high-gloss standard may be dabbed gently with a lint-free paper towel or other lint-free absorbent material. Place the rinsed standards in a warm oven to dry.

8. Preparation and Selection of Test Specimens

8.1 This test method does not cover preparation techniques. Whenever a test for gloss requires the preparation of test specimens, use the procedures given in Practice D823.

NOTE 3—To determine the maximum gloss obtainable from a test material, such as a paint or varnish, use Methods B or C of Practice D823.

8.2 Select specimens in accordance with Practice D3964.

9. Instrument Calibration

9.1 Operate the glossmeter in accordance with the manufacturer's instructions.

9.2 Verify the instrument zero by placing a black cavity in the specified position. If the reading is not within ±0.1 of zero,

subtract it algebraically from subsequent readings or adjust the instrument to read zero.

9.3 Calibrate the instrument at the start and completion of every period of glossmeter operation, and during the operation at sufficiently frequent intervals to assure that the instrument response is practically constant. To calibrate, adjust the instrument to read correctly the gloss of a highly polished standard, properly positioned and oriented, and then read the gloss of a working standard in the mid-gloss range. If the instrument reading for the second standard does not agree within one unit of its assigned values, check cleanliness and repeat. If the instrument reading for the second standard still does not agree within one unit of its assigned value, repeat with another mid-range standard. If the disparity is still more than one unit, do not use the instrument without readjustment, preferably by the manufacturer.

10. Procedure

10.1 Position each specimen in turn beneath (or on) the glossmeter. For specimens with brush marks or similar texture effects, place them in such a way that the directions of the marks are parallel to the plane of the axes of the incident and reflected beams.

10.2 Take at least three readings on a 3 by 6-in. (75 by 150-mm) area of the test specimen. If the range is greater than

two gloss units, take additional readings and calculate the mean after discarding divergent results as in the section on Test for Outliers of Practice D3980. For larger specimens, take a proportionately greater number of readings. For non-ideal samples, (for example, weathered samples) the parties involved shall determine the acceptable range.

11. Diffuse Correction

11.1 Apply diffuse corrections only upon agreement between the producer and the user. To apply the correction, subtract it from the glossmeter reading. To measure the correction, illuminate the specimen perpendicularly and view at the incident angle with the receiver aperture specified in 6.2 for the corresponding geometry. To compute the correction, multiply the 45°, 0° directional reflectance of the specimen, determined in accordance with Test Method E97, by the effective fraction of the luminous flux reflected by the perfect diffuse reflector and accepted by the receiver aperture. The luminous flux entering the receiver aperture from the perfect white diffusor would give the following gloss indications for each of the geometries:

Geometry, °	Gloss of Perfect White Diffuser
60	2.5
20	1.2
85	0.03

12. Report

- 12.1 Report the information following:
 - 12.1.1 Mean specular gloss readings and the geometry used.
 - 12.1.2 If uniformity of surface is of interest, the presence of any specimen that exhibits gloss readings varying by more than 5 % from their mean.
 - 12.1.3 Where preparation of the test specimen has been necessary, a description or identification of the method of preparation.
 - 12.1.4 Manufacturer's name and model designation of the glossmeter.

TABLE 2 Maximum Acceptable Differences for Two Results

Type of Gloss, ^a	Repeatability (Within Laboratories) ^a		Reproducibility (Between Laboratories) ^b	
	Ceramic Tiles	Painted Panels	Ceramic Tiles	Painted Panels
20	1.1	1.7	3.5	6.4
60	0.9	0.9	3.4	3.5
85	0.6	0.8	2.0	7.2

^a Single determinations.
^b For means of three determinations.

TABLE 3 Standard Deviation of Gloss Determinations

Type of Gloss, ^a	No. of Ceramic Tiles	Degrees of Freedom		Standard Deviations	
		Within-Laboratory	Between-Laboratories	Within-Laboratory ^a	Between-Laboratories ^b
20	4	40	34	0.4	1.2
60	4	40	34	0.3	1.2
85	2	16	6	0.2	0.6

Type of Gloss, ^a	No. of Painted Panels	Degrees of Freedom		Standard Deviations	
		Within-Laboratory	Between-Laboratories	Within-Laboratory ^a	Between-Laboratories ^b
20	8	80	72	0.6	2.2
60	22	220	136	0.3	1.2
85	6	48	18	0.3	2.4

^a Single determinations.
^b For means of three determinations.

12.1.5 Working standard or standards of gloss used.

13. Precision

13.1 On the basis of studies of this test method by several laboratories in which single determinations were made on different days on several ceramic tiles and painted panels differing in visually perceived gloss, the pooled within-laboratory and between-laboratories standard deviations were found to be those shown in Table 3. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

13.1.1 *Repeatability*—Two results, each of which are single determinations obtained on the same specimen by the same operator, should be considered suspect if they differ by more than the maximum acceptable differences given in Table 2.

13.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of three determinations, obtained on the same specimen by different laboratories should be considered suspect if they differ by more than the maximum acceptable differences given in Table 2. This does not include variability due to preparation of panels in different laboratories.

NOTE 4—For some types of paint, particularly semi-gloss, the measured gloss is affected by method of film preparation and drying conditions so that the reproducibility of results from such materials may be poorer than the values given in Table 2.

14. Keywords

14.1 appearance; directional reflectance factor; gloss; goniophotometry; high-gloss; relative luminous reflectance factor; specular gloss.



REFERENCES

- (1) Hunter, R. S., "Methods of Determining Gloss," *Proceedings, ASTM*, Vol 36, 1936, Part II, p. 783. Also, *Journal of Research*, Nat. Bureau Standards, Vol 18, No. 1, January 1937, p. 19 (*Research Paper RP958*). Six somewhat different appearance attributes are shown to be variously associated with gloss. Therefore, as many as six different photometric scales may be required to handle all gloss measurement problems. (This paper is out of print).
- (2) Hunter, R. S., and Judd, D. B., "Development of a Method of Classifying Paint According to Gloss," *ASTM Bulletin*, No. 97, March 1939, p. 11. A comparison is made of several geometrically different photometric scales for separating paint finishes for gloss. The geometric conditions of test later incorporated in Test Method D523 are recommended.
- (3) Wetlaufer, L. A., and Scott, W. E., "The Measurement of Gloss," *Industrial and Engineering Chemistry*, Analytical Edition, Vol 12, November 1940, p. 647. A goniophotometric study of a number of paint finishes illuminated at 45°; a study of gloss readings affected by variation of aperture for 45 and 60° incidence.
- (4) Hunter, R. S., "The Gloss Measurement of Paint Finishes," *ASTM Bulletin*, No. 150, January 1948, p. 72. History of Test Method D523.
- (5) Hammond, H. K., III, and Nimerhoff, L., "Measurement of Sixty-Degree Specular Gloss," *Journal of Research*, Nat. Bureau Standards. A study of the effect of aperture variation on glossmeter readings, including definitions of terms used in connection with specular gloss measurement, the Fresnel equation in a form readily usable for computation, and the deviation of diffuse correction formulas.
- (6) Hunter, R. S., "Gloss Evaluation of Materials," *ASTM Bulletin*, No. 186, December 1952, p. 48. A study of the history of gloss methods in ASTM and other societies, describing the background in the choice of geometry of these methods. Contains photographs depicting gloss characteristics of a variety of methods.
- (7) Hunter, R. S., *The Measurement of Appearance*, Wiley-Interscience, New York, 1975, Chapter 6, "Scales for Gloss and Other Geometric Attributes," and Chapter 13, "Instruments for the Geometric Attributes of Object Appearance."
- (8) Horning, S. C., and Morse, M. P., "Measurement of the Gloss of Paint Panels," *Official Digest*, Federation of Paint and Varnish Production Clubs, March 1947, p. 153. A study of the effect of geometric conditions on results of gloss tests with special attention to high-gloss panels.
- (9) Huey, S., Hunter, R. S., Schreckengust, J. G., and Hammond, H. K., III, "Symposium on Gloss Measurement," *Official Digest*, Vol 36, No. 471, April 1964, p. 343. Contains discussion of industrial experience in measurement of 60° specular gloss (Huey), high-gloss measurement (Hunter), evaluation of low-gloss finishes with 85° sheen measurements (Schreckengust), and gloss standards and glossmeter standardization (Hammond).
- (10) Billmeyer, F. W., Jr., O'Donnell, F. X. D., "Visual Gloss Scaling and Multidimensional Scaling Analysis of Painted Specimens," *Color Research and Application*, Vol 12, 1987, pp 315–326. Compares visual difference ratings with instrumental measurements of specular gloss, distinctness of image gloss, and haze for series of black, gray, and white painted specimens. The data are analyzed by multidimensional scaling.
- (11) Budde, W., "Stability Problems in Gloss Measurements," *Journal of Coatings Technology*, Vol 52, June 1980, pp. 44–48.

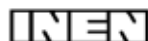
ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

Anexo 8: Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 286:2001

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 286:2001. Pinturas. Fondos Nitrocelulósicos para repintado en la industria automotriz. Requisitos. Quito: INEN.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 286:2001

**PINTURAS. FONDOS NITROCELULÓSICOS PARA
REPINTADO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.
REQUISITOS.**

Primera Edición

PAINTS. NITROCELLULOSE BASES FOR REPAINTING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY. SPECIFICATIONS.

First Edition

DESCRIPTORES: Pinturas, fondos nitrocelulósicos, vehículos, automóviles, camiones, requisitos.
QU 04.05-436
CDU: 667.63
CIIU: 3521
ICS: 87.040

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PINTURAS. FONDOS NITROCELULÓSICOS PARA REPINTADO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ. REQUISITOS.	NTE INEN 2 286:2001 2001-08
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los fondos nitrocelulósicos, usados en latonería y afines para retoque o repintado de vehículos automotores.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a fondos nitrocelulósicos que son usados para repintar automóviles, camiones, equipos pesados y vehículos en general.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 997 y las que a continuación se detallan:</p> <p>3.1.1 <i>Fondo</i>. Es la primera capa completa de pintura de un sistema de pintura aplicado a una superficie no pintada. El tipo de fondo varía según la superficie, sus condiciones y el sistema de pintura a usarse.</p> <p>3.1.2 <i>Sustrato</i>. Es el material sólido que, en un sistema de pinturas, debe soportar a éstas, permaneciendo en contacto con la primera capa del mismo.</p> <p>3.1.3 <i>Repintado</i>. Aplicación de recubrimiento que se da a toda superficie que estaba pintada anteriormente.</p> <p>3.1.4 <i>Retoque</i>. Aplicación de recubrimiento que se da a una parte de la superficie para restaurarla, perfeccionarla o ambas cosas.</p> <p style="text-align: center;">4. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>4.1 Características del pigmento. Los pigmentos utilizados para estos fondos no deben presentar sangría cuando se ensayen como se indica en la NTE INEN 2 271, exceptuando el rojo toluidina.</p> <p>4.2 Aspecto. Los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores, mantenidos a temperatura ambiente en sus envases originales sin abrir, deben ser homogéneos y no deben presentar separación de fases, aumento excesivo de viscosidad, ni formar sedimentos duros en el lapso de un año contado a partir de la fecha de fabricación. Si se presenta sedimento, éste debe ser fácilmente dispersable por agitación manual.</p> <p>4.3 Estabilidad de dilución. Los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores deben mezclarse fácil y rápidamente con el tipo y cantidad de adelgazador (thinner) indicado por el fabricante en la etiqueta y no deben presentar precipitación, separación de componentes o cualquier otra incompatibilidad dentro de las 24 horas siguientes después de efectuada la dilución. En caso de presentar sedimentación debe ser reincorporada fácilmente por agitación manual.</p> <p>4.4 Color. Los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores deben tener un color comprendido entre los límites previamente establecidos entre las partes.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <p>DESCRIPTORES: Pinturas, fondos nitrocelulósicos, vehículos, automóviles, camiones, requisitos.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo 454 y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

4.5 Olor. Cuando los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores se apliquen en las condiciones indicadas por el fabricante y se mantenga una ventilación normal, no deben presentar olor residual después de 8 días de aplicado.

4.6 Condiciones de aplicación. Los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores, deben aplicarse sobre la superficie del vehículo automotor previamente acondicionado en la forma indicada por el fabricante de la laca.

4.7 Condiciones de mezcla. Las mezclas de fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores de un mismo fabricante deben cumplir con los requisitos indicados en la presente norma.

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

5.1.1 En la elaboración de los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores no deben emplearse benceno (benzol), metanol (alcohol metílico) ni compuestos clorados; sólo se permitirán las cantidades provenientes de las impurezas de las materias primas utilizadas para su elaboración e indicadas en el numeral 4.1.4.1 de la NTE INEN 2 163.

5.1.2 Los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos de los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos automotores

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Finura de dispersión	U. Hegman	5	-	NTE INEN 1 007
Tiempo de secado				NTE INEN 1 011
- al tacto	minutos	-	50	
- al manejo	minutos	-	105	
- para repintar	minutos	-	115	
Viscosidad a 25°C	U. Krebs (p.p.u)	100	140	NTE INEN 1 013
Sólidos por masa	% (m/m)	54	-	NTE INEN 1 024
Sólidos por volumen*	% (v/v)	34	-	NTE INEN 2 092
Adherencia, a 48 h de aplicación y espesor 40-50 µm	%	95	100	NTE INEN 1 006
Flexibilidad	%	22	-	NTE INEN 1 002
Lijabilidad	30 min	Pasa		NTE INEN 2 274
Rendimiento a 25,4 µm de espesor de película seca	m ² /l	13	-	**
* Los sólidos por volumen deben ser determinados a la viscosidad de presentación del producto.				
Porcentaje sólidos por volumen x 10				
** Rendimiento = $\frac{\text{Porcentaje sólidos por volumen} \times 10}{\text{Espesor seco en } \mu\text{m}}$				

5.1.2.1 La adherencia y flexibilidad debe ensayarse en la película de fondo nitrocelulósico aplicada según recomendación del fabricante.

5.1.3 Los fondos nitroclulósicos para repintado de vehículos automotores deben cumplir, además de los requisitos indicados en la tabla 1, con los siguientes:

5.1.3.1 *Formación de nata (piel)*. Cuando se ensayen de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 2 089 durante 24 horas, no deben formar nata (piel) ni presentar grumos.

5.1.3.2 *Contenido en el envase*. Cuando se ensayen de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 2 272 el recipiente debe contener la cantidad indicada en la etiqueta como error permisible, de acuerdo a lo especificado en la tabla 4 de la NTE INEN 483.

5.1.3.3 *Propiedad de aplicación*. Cuando se aplique con pulverizador de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 2 270, deben dejarse aplicar fácilmente, mostrar buena fluidez y buenas propiedades de cubrimiento según el color.

5.1.3.4 *Aspecto de la película seca*. Cuando se aplique de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 2 270, debe ser lisa, uniforme, libres de grumo, burbujas o ampollas, cráteres o puntos de alfiler.

5.1.3.5 *Propiedades de repintado*. Cuando se apliquen dos capas de fondo de acuerdo con lo indicado en las NTE INEN 2 270 y 1 011, la primera capa no debe removerse y la segunda no debe levantarse.

5.1.3.6 *Resistencia a la gasolina de motor*. Cuando se ensayen de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 2 090, no deben presentar ablandamiento, ampollamiento ni levantamiento a las 5 h máximo de exposición luego de ocho días de secado al aire.

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo debe realizarse de acuerdo a la NTE INEN 999.

6.2 Aceptación y rechazo

6.2.1 En la muestra extraída se efectuarán los ensayos indicados en el numeral 5 de esta norma.

6.2.2 Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en el numeral 5 de esta norma, se extraerá una segunda muestra y se repetirán los ensayos.

6.2.3 Si la segunda muestra de los ensayos repetidos no cumpliere con uno de los requisitos establecidos, se rechazará el lote correspondiente.

7. ENVASADO Y EMBALADO

7.1 Los fondos nitrocelulósicos para repintado de vehículos debe envasarse en recipientes de material adecuado que permitan conservar la calidad del producto, así como su manejo hasta el destino final.

(Continúa)

8. ETIQUETADO

8.1 Cada envase debe presentar una etiqueta perfectamente legible que incluya la siguiente información:

- a) razón social del fabricante y marca comercial,
- b) denominación del producto "Fondo nitrocelulósico para repintado de vehículos automotores",
- c) identificación del lote de producción,
- d) contenido neto, en centímetros cúbicos o litros,
- e) color y referencia,
- f) instrucciones para su uso,
- g) precauciones o toxicidad del producto,
- h) la frase "Industria Ecuatoriana"
- i) NTE INEN de referencia,
- j) dirección del fabricante, ciudad y país, y,
- k) las demás especificaciones exigidas por Ley.

8.2 El envase no debe presentar leyendas de significado ambiguo ni descripción de características del producto que no puedan ser debidamente comprobadas.

8.3 La comercialización de este producto cumplirá con lo dispuesto en las regulaciones y resoluciones dictadas con sujeción a la Ley de Pesas y Medidas.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 483:1980	<i>Productos empaquetados o envasados. Error máximo permisible.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 997:1983	<i>Pinturas y productos afines. Definiciones.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 999:1983	<i>Pinturas y barnices. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 002:1996	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la flexibilidad mediante mandriles cónicos. (Primera revisión)</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 006:1996	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la adherencia mediante prueba de la cinta. (Primera revisión).</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 007:1984	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la finura de dispersión de sistemas Pigmento - Vehículo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 011:1984	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de los tiempos de secamiento.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 013:1984	<i>Pinturas. Determinación de la viscosidad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 024:1984	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la materia no volátil y volátil totales en pinturas. (Primera revisión).</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 089:1996	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la formación de nata (piel)</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 090:1996	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la resistencia a los aceites minerales y la gasolina.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 092:1996	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la materia no volátil por volumen.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 163:1999	<i>Solventes. Adelgazadores. (Thinner). Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 270:2000	<i>Pinturas y productos afines. Aplicación en láminas metálicas de ensayo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 271:2000	<i>Pinturas y productos afines. Determinación del grado de sangrado de pigmentos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 272: 2000	<i>Pinturas y productos afines. Determinación del contenido del envase.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 274: 2000	<i>Pinturas y productos afines. Determinación de la lijabilidad.</i>

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Técnica venezolana COVENIN 2989 *Fondos a base de nitrocelulosa para retoque en la industria automotriz.* Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1993.

Anexo 9: Muestreo sistemático

Valenzuela, J., Guillen, A., Prado, J. & Badii, J. (2010). *Concepto y Aplicación de Muestreo Conglomerado y Sistemático*. *Daena*, 6(2).
<https://philpapers.org/rec/GUICYA>, pp.189-192

Daena: International Journal of Good Conscience. 6(2) 186-194. Octubre 2011. 189
ISSN 1870-557X

5.0	1.23 ≈ 2
10.0	0.30 ≈ 1

Por tanto, la estimación de la media poblacional con su intervalo de confianza a nivel de 95% es:

$$m_{y_i} \pm L = 10.16 \pm 1.1$$

Límite inferior: 11.26

Límite superior: 10.06

Muestreo sistemático (Msis)

Cuando se trata de un muestreo sencillo y rápido, se usa este tipo de muestreo. Una característica importante del muestreo sistemático es que presenta menos varianza que el muestreo simple aleatorio, esto debido a la presencia de una estratificación innata en el diseño del muestreo sistemático. El muestreo sistemático normalmente se usa en la inspección y el control de calidad debido a la alta rapidez y la baja varianza de este tipo de muestreo. Este tipo de muestreo es adecuado para las situaciones en donde la población es grande y con alto nivel de varianza. El procedimiento es de manera siguiente. En base a un arreglo aleatorio se selecciona un número entre el 1 y el 10, suponemos que este número es el 4. Luego dependiendo del tamaño de la población se seleccione un intervalo que es directamente proporcional al tamaño poblacional. Vamos a suponer que este intervalo es igual a 100. Se selecciona la unidad muestral (UM) número 4 y luego las unidades muestrales siguientes basado en este intervalo, es decir, las UM's 104, 204, 304, etc. hasta agotar el cuadro de la muestra. Como ya se mencionó arriba existe una estratificación innata en este tipo de muestreo que permite la reducción de la variabilidad. Sin embargo, a veces, sucede que este intervalo coincide con la presencia de una gradiente de variabilidad natural dentro de la población. Por ejemplo, sucede que cada 10 (largo de intervalo) casas, la casa que se va a muestrear se encuentra en una esquina. Es claro que una casa en la esquina posee información de cuatro direcciones cardinales en comparación con otras casas que no están en la esquina, y obviamente, este gradiente de variabilidad genera sesgo en el muestreo y por tanto, mal representación de la población.

Ejemplo del Msis

A. Estimación de la media poblacional (m_{sis}) con 95% de IC

Vamos a suponer que deseamos estimar la calidad de maple (% de azúcar) en la savia del árbol del maple en una zona específica. El número total de los árboles esta desconocida, por tanto, no se puede hacer un MSA. La alternativa es conducir un muestreo sistemático (Msis), en base a seleccionar 1 de cada 7 árboles. El objetivo es el estimar la media poblacional con su limite de estimación (L) a 95% de confiabilidad. Usando, éste intervalo (muestrear cada 7 árbol), nos arroja los siguientes datos (Tabla 3).

Tabla 3. Datos de maple según un muestreo sistemático.

Árbol muestreado (i)	Cantidad de azúcar en savia (X_i)	$(X_i)^2$
1	82	$(82)^2$
2	76	$(76)^2$
3	83	$(83)^2$
-	-	-
-	-	-
-	-	-
210	84	$(84)^2$
211	80	$(80)^2$
212	79	$(79)^2$
n = 212	$\sum (X_i) = 17,066$	$\sum (X_i)^2 = 1,486,800$

$$N_i = n * 7$$

$$N_i = 212 * 7 = 1,848$$

$$m_{sis} = \sum(X_i) / n$$

$$m_{sis} = 17,066 / 212 = 80.6$$

$$V = [\sum(X_i)^2 - (\sum X_i)^2 / n] / (n-1)$$

$$V = [1,486,800 - (17,066/212)] / (212-1) = 535.483$$

$$EE_{m_{sis}} = [(V/n)(1-\phi)]^{1/2}$$

$$EE_{m_{sis}} = [(535.483/212)(1-(212/1.484))]^{1/2} = 1.46$$

Donde,

n = Tamaño de la muestra

N_t = Tamaño total de la población

m_{sis} = Media de la muestra sistemática

V = Varianza

$EE_{m_{sis}}$ = Error estándar

Por tanto, la estimación de la media poblacional con su intervalo de confianza a nivel de 95% para el muestreo sistemático es:

$$m_{sis} \pm L = 80.6 \pm 2 (1.46)$$

$$\text{Límite inferior: } 80.6 - 2(1.46) = 77.68$$

$$\text{Límite superior: } 80.6 + 2(1.46) = 83.52$$

B. Estimación del total de de la población (N_t) con 95% de IC

Se desea estimar el rendimiento de una huerta de manzano con 1300 árboles (N_t). Suponemos que la media y la varianza del rendimiento en base a un muestreo sistemático con un intervalo de 10 son: $m_{sis} = 3.52$ cajas por árbol, y $V = 0.48$. El objetivo es el estimar el tamaño total de la población con su límite de error de estimación (L) a nivel de 95% de confiabilidad.

$$n = N_t/10 = 1300/10 = 130$$

$$T = N_t * m_{sis} = 1300 * 3.52 = 4,576$$

$$EE_T = [(N_t)^2(V/n)(1-\phi)]^{1/2}$$

$$EE_T = [(1300)^2(0.48/130)(1-(130/1300))]^{1/2} = 74.94$$

Donde,

n = Tamaño de la muestra

T = Total de la población

EE_T = Error estándar para el total de la población

$EE_{m_{sis}}$ = Error estándar para la media de la población

Por tanto, la estimación de la total poblacional con su intervalo de confianza a nivel de 95% para el muestreo sistemático es:

$$T \pm L = 4,576 \pm 2(74.94)$$

$$\text{Límite inferior: } 4,576 - 2(74.94) = 4,426.12$$

$$\text{Límite superior: } 4,576 + 2(74.94) = 4,725.88$$

C. Estimación del tamaño óptimo de la muestra (n_{opt})

Un banco desea estimar el promedio del tiempo que los recibos de los servicios llegan al banco después de la fecha de vencimiento. Este banco hace un muestreo sistemático de $N_t = 2500$ cuentas de clientes con fechas vencidas para los recibos de servicio. Suponemos que basado en un muestreo similar del año anterior fue determinado que $V = 100$. La pregunta es cuál sería el tamaño óptimo de la muestra para estimar la media poblacional con un límite de estimación igual a 2 días ($L = 2$).

$$n_{opt} = N_t V / [(N_t - 1)D + V]$$

$$n_{opt} = 2500(100) / [(2500-1)1 + 100] = 96.19 \approx 97$$

$$\text{Donde, } D = L^2 / 4 = 2^2 / 4 = 1$$

Anexo 10: Tamaño de muestra por población finita

García García, J. A., Reding Bernal, A., & López Alvarenga, J. C. (2013). *Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica*. Mexico DF: ELSEVIER. Pp. 217-223

Inv Ed Med 2013;2(8):217-224



METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN MÉDICA

Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica

José Antonio García-García, Arturo Reding-Bernal, Juan Carlos López-Alvarenga

Departamento de Bioestadística y Bioinformática, Dirección de Investigación, Hospital General de México "Dr. Eduardo Liceaga", México D.F., México.

Recepción 7 de junio de 2013; aceptado 13 de agosto de 2013

PALABRAS CLAVE

Tamaño de muestra; cálculo; error estadístico; investigación en educación médica; México.

Resumen

Un aspecto importante en la metodología de la investigación, es el cálculo de la cantidad de participantes que deben incluirse en un estudio. El tamaño de muestra permite a los investigadores saber cuántos individuos son necesarios estudiar, para poder estimar un parámetro determinado con el grado de confianza deseado, o el número necesario para poder detectar una determinada diferencia entre los grupos de estudio, suponiendo que existiese realmente. El cálculo del tamaño de la muestra es una función matemática que expresa la relación entre las variables, cantidad de participantes y poder estadístico. La muestra de un estudio debe ser representativa de la población de interés. El objetivo principal de seleccionarla es hacer inferencias estadísticas acerca de la población de la que proviene. La selección debe ser probabilística. Los factores estadísticos que determinan el tamaño de la muestra son: hipótesis, error alfa, error beta, poder estadístico, variabilidad, pérdidas en el estudio y el tamaño del efecto. Se revisan las fórmulas utilizadas para el cálculo del tamaño de la muestra en las situaciones más frecuentes en investigación, así como la revisión de fórmulas para un cálculo más rápido. Se incluyen ejemplos de investigación en educación médica. También se revisan aspectos importantes como: tamaño de la muestra para estudios piloto, estrategias para disminuir el número necesario de sujetos, y software para el cálculo del tamaño de muestra.

KEYWORDS

Sample size; calculation; population; statistical error; research in medical education; Mexico.

Sample size calculation in medical education research

Abstract

An important aspect in the research methodology, is the calculation of the number of participants that must be included in a study, since the sample size allows the researchers to

Correspondencia: José Antonio García García. Dr. Balmis N° 148, Colonia Doctores, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06726, México D.F., México. Teléfonos: 5004 3842, 5004 3843. Conmutador: 2789 2000, ext. 1164. Correo electrónico: drjagarcia2@prodigy.net.mx

know how many individuals it is necessary to study in order to estimate a parameter with the desired degree of confidence, or the number needed in order to detect a certain difference between the study groups, assuming that exist actually.

The calculation of the sample size is a mathematical function that expresses the relationship between the variables, amount of participants and statistical power.

A sample from a study should be representative of the population of interest. The main goal of selecting a sample is to make statistical inferences about the population from which comes from. The selection must be probabilistic.

Statistical factors that determine the sample size are: assumptions, error alpha, beta error, statistical power, and variability, losses in the study and size effect.

We review the formulas used for calculating the sample size in the most common situations in research, as well as the revision of formulas for a faster calculation.

It's included examples of research in medical education.

Also reviewed are important issues such as: sample size for pilot studies, strategies to reduce the required number of subjects, and software for the sample size calculation.

Introducción

Un aspecto relevante en la metodología de la investigación, es la estimación o cálculo de la cantidad de participantes que deben incluirse en un estudio. La primera reflexión que surge es ¿para qué sirve el cálculo del tamaño de la muestra? Permite a los investigadores saber cuántos individuos son necesarios estudiar, para estimar un parámetro determinado con el grado de confianza deseado o el número necesario para detectar una determinada diferencia entre los grupos de estudio, suponiendo que existiese realmente.

La inclusión de un número excesivo de sujetos enriquece el estudio en varios aspectos. Un estudio con un tamaño insuficiente de la muestra estimará un parámetro con poca precisión o será incapaz de detectar diferencias entre los grupos, conduciendo a conclusiones erróneas.

En este documento se revisan los aspectos sobresalientes del tema, incluyendo los matemáticos utilizados para estimar el tamaño de la muestra.

Preámbulo

Grosso modo, puede considerarse que el objetivo de una investigación puede ser:

1. *Estimación de un parámetro.* Se pretende hacer inferencias a valores poblacionales (medias, proporciones), a partir de los resultados en una muestra. Por ejemplo, el porcentaje de estudiantes de pregrado con obesidad o el de alumnos que son aceptados para hacer una residencia médica.
2. *Contraste de hipótesis.* Aquí se tiene como propósito comparar si las medidas (medias, proporciones) de las muestras son diferentes. Por ejemplo, evaluar qué intervención educativa consigue un mayor porcentaje de éxitos.^{1,2}

El cálculo del tamaño de la muestra como una función matemática

El cálculo del tamaño de la muestra no es una simple operación aritmética que nos proporcione un valor. Es una función matemática, por lo tanto, el cambio de una variable,

necesariamente se acompaña del cambio de la otra considerada en la ecuación. Permite una mejor aproximación al número que se requiere, ajustando a su vez el poder estadístico con otros parámetros.

Se denota por: $y = f(x)$

donde:

y = variable dependiente (atributo o característica cuyo cambio es el que interesa medir, también se le denomina resultante o desenlace. En el cálculo del tamaño de la muestra, es el número de participantes que se necesitan).

x = variable independiente (atributo o característica que explica o predice el cambio en la variable dependiente. En el cálculo del tamaño de la muestra, un ejemplo es el poder estadístico que se requiere y que el investigador fija con antelación).

f = función (es una colección de pares de valores ordenados, que pertenecen a diferentes conjuntos. En el cálculo del tamaño de la muestra, los conjuntos se pueden ejemplificar con el poder estadístico y el número muestral resultante).

$f(x)$ = regla de correspondencia (expresa que para cada elemento de un conjunto se relaciona solamente con un elemento de otro conjunto. En el cálculo del tamaño de la muestra, para un elemento del poder estadístico se relaciona solamente con un número muestral).

En la **Figura 1** se ilustran dos ejemplos hipotéticos para la representación gráfica del concepto de función para la estimación del tamaño de muestra. Se utilizaron datos para modelos con diferencia de medias (gráfica izquierda) y para diferencia de promedios (gráfica derecha). La gráfica de la función es una línea, y sobre ella, los seguidores del método tradicional solicitan el resultado de las fórmulas aritméticas empleadas para el cálculo, que representa solamente un punto sobre la línea. Se utilizó el software Statistica® versión 8, para las estimaciones y representación gráfica del tamaño muestral.^{3,4}

Rigor en el cálculo del tamaño de muestra en ciencias

En las diferentes áreas de la investigación científica se debe tener rigor metodológico tanto para la elaboración

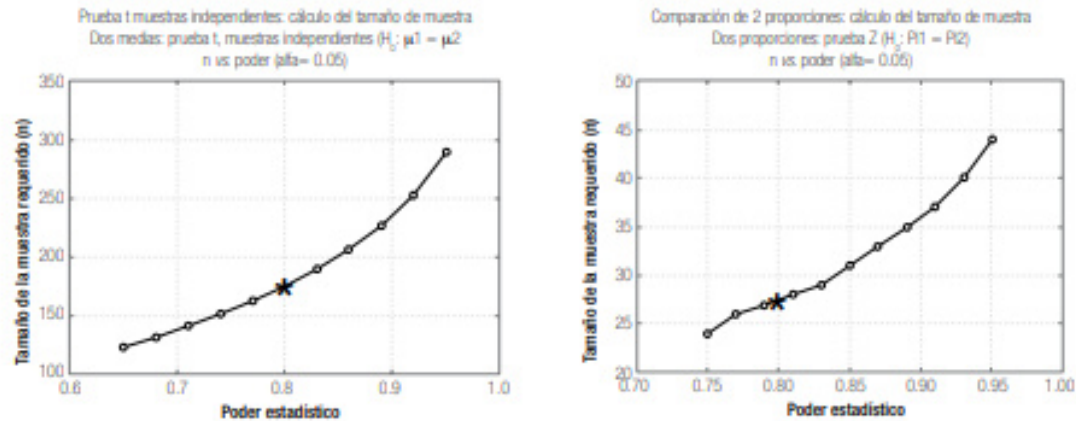


Figura 1. Representación gráfica de la función para el cálculo del tamaño de la muestra, tanto para comparar dos medias como dos proporciones. En el eje de las ordenadas se muestra el número de integrantes de la muestra y en el eje de las abscisas el poder estadístico. La función está representada por la línea, y el asterisco sobre ella representa el valor resultante de la fórmula matemática correspondiente, obteniendo así el tamaño de la muestra para un poder estadístico del 80%, que es utilizado habitualmente.

del protocolo, como para el desarrollo de las diferentes fases de la investigación. En este orden de ideas, es exigible la misma severidad para estimar el tamaño de la muestra en investigación en educación médica, que en otras áreas del conocimiento.⁵ Lo anterior aplica para la mayoría de los estudios contenidos en la brújula o compás de la investigación en educación médica.⁴

¿En dónde se anota el desarrollo del cálculo del tamaño de la muestra?

Los sitios en donde se desglosa este proceso son: el protocolo de la investigación, también aparece en las tesis de Maestrías y Doctorados en Ciencias Médicas y de la Salud y eventualmente en las de licenciatura. Pero no aparece en los artículos publicados, se da como un valor entendido que se realizó con rigor metodológico. Lo que aparece en los artículos científicos es la muestra en el estudio, pero no las variables y sus valores que se consideraron para la estimación del número.

Aspectos básicos en el proceso de muestreo. De población a muestra y viceversa

Población (cantidad representada en las fórmulas como N), es el conjunto total de elementos del que se puede seleccionar la muestra y está conformado por elementos denominados unidades de muestreo o unidades muestrales, con cierta ubicación en espacio y tiempo. Las unidades de muestreo pueden ser individuos, familias, universidades, grupos de alumnos, profesores, etc. Una muestra (cantidad representada en las fórmulas como n), no es más que un subconjunto de la población que se obtiene por un proceso o estrategia de muestreo.^{4,7}

El objetivo fundamental para seleccionar una muestra es hacer inferencias estadísticas (estimaciones de uno o más parámetros acerca de una población de interés). Esta

población es la que se desea investigar y se le denomina población de interés, blanco, objeto o diana. Para que la extrapolación (inferencia estadística) tenga validez, la muestra debe ser representativa, y alude a que el estimador muestral de las variables de interés debe tener una distribución similar a las de la población de donde proviene. Para cumplir este supuesto de representatividad es deseable que la muestra sea probabilística (Figura 2).⁸

Abraham Flexner, en su trascendental documento, incluyó al 100% de la población diana que fueron todas las escuelas de medicina de Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. La muestra fue igual en número a la población, un hecho muy difícil de emular.⁹

Un aspecto diferente de muestreo es el caso de los estudios para determinar la eficacia y seguridad de algún medicamento, comparado con los tratamientos estándares o contra placebo. En ellos, el interés reside en contrastar hipótesis sobre una intervención (tratamiento o maniobra) que interesa al investigador. En este caso, el muestreo suele ser a conveniencia.¹⁰

Este artículo se enfoca en el diseño y la determinación del tamaño de la muestra para obtener representatividad o validez externa en las conclusiones.

Muestras y proceso de aleatorización en los estudios

Una vez que los sujetos de estudio son seleccionados, se hace una aleatorización para asignar la intervención que recibirá cada uno. En este caso es adecuado que la aleatorización se haga por bloques. Si el investigador conoce de antemano la existencia de factores que modifican la variable dependiente, es recomendable hacer estratos para controlar a la variable confusora, que es una variable predictora del cambio en la variable dependiente, externa a la relación principal que se analiza pero simultáneamente relacionada con la variable independiente. Cada estrato

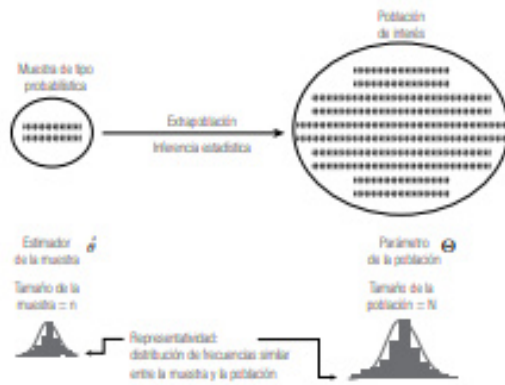


Figura 2. Interrelación entre población y muestra. La representatividad de una muestra probabilística permite hacer inferencias estadísticas a la población de interés. Modificado de López-Alvaranga JC, et al.⁸

se aleatoriza en forma independiente para lograr grupos balanceados en la intervención o tratamiento.¹¹

Recientemente se publicó un ensayo controlado y aleatorizado en investigación en educación médica, en donde la intervención o tratamiento fue un curso sobre medicina basada en evidencia de seis meses de duración, la muestra incluyó a los alumnos del quinto año de la licenciatura en medicina, los cuales fueron aleatorizados en dos grupos balanceados; es decir, con el mismo número de participantes. Como variables dependientes se midieron las actitudes, conocimientos y habilidades auto-reportadas, en ambos grupos.¹²

Factores para la determinación del tamaño de la muestra

Los factores que condicionan el tamaño de muestra, son de orden logístico o estadístico. Entre los primeros se encuentran las limitantes financieras o la disponibilidad de participantes. Los siguientes son los factores de orden estadístico que se desglosarán a continuación:⁸

1. Hipótesis.
2. Error tipo I o error α .
3. Error tipo II o error β .
4. Poder estadístico.
5. Variabilidad.

6. Pérdidas en el seguimiento del estudio.

7. Relevancia del tamaño del efecto y significancia estadística.

1. Hipótesis

De acuerdo con el tipo de estudio de investigación, puede ser necesario formular una o más hipótesis. Si se trata de un estudio tipo descriptivo, ésta no es necesaria. En los estudios de tipo comparativo es necesario establecerlas. En ambos casos, es necesario contrastar las hipótesis y determinar si se aceptan o se rechazan. Para ese contraste, las hipótesis toman el nombre de nula (H_0) o alternativa (H_1). El investigador desea probar la hipótesis alternativa, que significa rechazar la hipótesis nula. Al valor α (error tipo I) se le conoce como la probabilidad de que se rechace H_0 (se acepte H_1) cuando H_0 es cierta. Al valor β se le conoce como la probabilidad de que se acepte H_0 cuando es falsa (H_1 es cierta) (Tabla 1).^{7,13}

El tipo de contraste de hipótesis puede ser unilateral (una cola) o bilateral (dos colas). Una hipótesis unilateral especifica la dirección de la asociación (mayor o menor) de las variables; en la bilateral se puede afirmar la asociación entre las variables, pero no especifica la dirección. En el contraste bilateral el tamaño de muestra es más grande, estos contrastes también poseen mayor robustez y se prefieren a los de una cola. Cabe mencionar que el valor de Z de una distribución normal (distribución en el que el valor de la media igual a 0 y desviación estándar igual a 1) cambia dependiendo el tipo de contraste de hipótesis. En la Tabla 2 se muestran los valores frecuentemente utilizados de la distribución normal para $Z_{\alpha/2}$ (2 colas) o para Z_α (1 cola).^{2,14}

2. Error tipo I o error α

En un contraste de hipótesis, al valor α (error tipo I) se le conoce como la probabilidad de que se rechace H_0 (se acepte H_1) cuando H_0 es cierta. Es decir, $P(\text{aceptar } H_1 | H_0 \text{ es cierta}) = \alpha$. Al valor $(1 - \alpha) \cdot 100$ se le conoce como el nivel de confianza de la prueba. El valor de α varía dependiendo del nivel de confianza que se quiera de la prueba; el criterio más usado en la literatura biomédica es aceptar un riesgo de $\alpha < 0.05$.^{4,15}

3. Error tipo II o error β

A la probabilidad de que se acepte H_0 cuando ésta es falsa (H_1 es cierta), se le conoce como error tipo II o error β , es decir: $P(\text{aceptar } H_0 | H_1 \text{ es cierta}) = \beta$. El valor de β

Tabla 1. Interpretación de los posibles errores estadísticos en el contraste de hipótesis.

		Realidad en la población	
		Existen diferencias (H_0 falsa)	No existen diferencias (H_0 cierta)
Resultado de la investigación	Hay diferencia significativa (se rechaza H_0)	Correcto	Error tipo I (α)
	No hay diferencia significativa (se acepta H_0)	Error tipo II (β)	Correcto

Tabla 2. Valores frecuentemente utilizados de la distribución normal para Z.

α	$Z_{1-\alpha}$ (2 colas)	β	$Z_{1-\beta}$ (1 cola)
0.1	1.65	0.2	0.84
0.05	1.96	0.1	1.28
0.01	2.58	0.05	1.65

tolerable de mayor aceptación en la comunidad científica va de 0.1 a 0.2.⁴

4. Poder estadístico

Es la probabilidad de que un estudio de un determinado tamaño detecte como estadísticamente significativa una diferencia que realmente existe.

Se define como $1 - \beta$. Es decir, $P(\text{aceptar } H_1 \mid H_1 \text{ es cierta}) = 1 - \beta$.

Su valor depende del error tipo II que se acepte. Si $\beta = 0.2$, se tendrá una potencia de $1 - \beta = 0.8$. En términos porcentuales se dice que la prueba tiene una potencia del 80%, que es el mínimo aceptado en la literatura biomédica.

Cuanto menores sean los riesgos calculados para los errores alfa y beta, mayor será el tamaño muestral requerido. Cuanto menor sea la variabilidad, menor será la muestra estimada. A menor diferencia que se desea detectar, mayor será el número de participantes.^{2,16}

5. Variabilidad

Es la dispersión esperada de los datos. Se evalúa dependiendo de la variable de interés. Si éstas son numéricas continuas (grupo de valores infinitos que incluyen decimales), el tamaño de muestra estará determinado por la variable con el mayor coeficiente de variación (CV) [$CV(\bar{Y}) = (S_y/\bar{Y})$], donde S_y es la desviación estándar y \bar{Y} es la media. Por otra parte, cuando las variables de interés son categóricas, por convención se recomienda utilizar la estimación de la proporción que más se acerque a 0.5, ya que proporciona el mayor número muestral. Para determinar la variabilidad se debe recurrir a la literatura publicada de la variable de interés, cuando el dato no está disponible se usarán datos de pruebas piloto y en última instancia a estimaciones hechas por expertos.^{4,17}

6. Pérdidas en el seguimiento del estudio

Durante la realización del estudio, puede haber pérdidas de participantes por diversas razones. El tamaño mínimo de muestra necesario para obtener resultados estadísticamente significativos está pensado, de acuerdo con el número de sujetos al final del estudio y no con el inicial. Es recomendable adicionar al cálculo inicial, un 10% a 20% de participantes. Una forma sencilla de estimar el cálculo es: $n/(1-R)$, donde n representa el número de participantes sin pérdidas, y R es la proporción de pérdidas esperadas.²

7. Relevancia del tamaño del efecto y significancia estadística

La magnitud de la diferencia del efecto que se desea detectar entre los grupos evaluados, es la condicionante más importante para el cálculo del tamaño de la muestra. Con frecuencia, la obtención de una diferencia estadísticamente significativa (diferencia en los resultados al contrastar dos o más valores o grupos con una prueba estadística, generalmente se fija un punto de corte para decir que si hay diferencias entre los valores. Por convención, lo más frecuente es aceptar la propuesta de Karl Pearson, que hay diferencias significativas cuando el valor de p es ≤ 0.05) no resulta relevante para el área en que se está investigando, práctica clínica, educación médica, etc. El investigador debe determinar si la magnitud de esa diferencia es relevante para el área de interés, independientemente de que haya sido estadísticamente significativa. Se espera que cualquier diferencia de relevancia también sea estadísticamente significativa.^{10,18}

Si en un estudio se han considerado los factores arriba descritos, pero no se ha anticipado que el resultado sea relevante en educación médica, pierde utilidad. Para ejemplificar: se realizó un estudio cuyo objetivo fue medir el conocimiento en medicina familiar de dos muestras de estudiantes que tomaron clases con profesores distintos, y el instrumento de medición del nivel de conocimiento fue un examen de opción múltiple de 100 ítems. Al momento de analizar estadísticamente los datos, se encontraron diferencias entre ambos grupos ($p < 0.05$), pero en el análisis se identificó que las diferencias fueron solamente del valor de dos respuestas, por lo anterior, se puede afirmar que hay diferencias estadísticamente significativas, pero carece de relevancia para la toma de decisiones educativas.

Al calcular el tamaño de la muestra se utilizan fórmulas matemáticas que consideran en forma simultánea varios de los siete factores estadísticos antes descritos, para la mayoría de ellos ya existen valores aceptados por convención o incluso asignados de manera arbitraria; al momento de sustituir valores en tales fórmulas nos encontramos que los rubros de variabilidad y tamaño del efecto requieren revisión bibliográfica, estudios piloto o la opinión de expertos para asignar un valor apropiado.

Tamaños de muestra de acuerdo a distintos diseños de muestreo

Para la determinación del tamaño de muestra, también hay que considerar el tipo de diseño empleado en la investigación. Existen diseños de tamaño fijo (los más usados en estudios clínicos, epidemiológicos y en investigación educativa) y de tamaño variable. En los de tamaño fijo, el tamaño de muestra se fija desde el inicio de la investigación; en los estudios de tamaño variable, el número de sujetos se irá incrementando hasta obtener un tamaño predeterminado (diseño secuencial) o el diseño experimental que involucra un solo caso. En el resto del documento sólo se hace referencia a los diseños de tamaño fijo.^{2,4}

La mayoría de las fórmulas utilizadas para el cálculo del tamaño de muestra, parten del supuesto de una distribución normal de los valores de las variables en cuestión;

sin embargo, existen herramientas estadísticas para analizar los datos cuando ese supuesto no se cumple.

1. Cálculo del tamaño de muestra de una media

El intervalo de confianza para estimar la media poblacional a partir de una muestra es el siguiente: $IC = \bar{y} \pm \delta$, donde \bar{y} es la media estimada a partir de la muestra,

$$\delta = Z_{\alpha/2} \cdot \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right), \quad s = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad \text{y } Z_{\alpha/2} \text{ es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar en donde se acumula la probabilidad de } (1-\alpha). \text{ Cuando } n \text{ es muy pequeña, } Z_{\alpha/2} \text{ podría sustituirse por } t_{(n-1), \alpha/2}. \text{ Entonces al despejar } n \text{ se tiene } n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot s^2}{\delta^2}. \text{ En muestras finitas donde la población es inferior a un millón, la fórmula para el cálculo del tamaño de la muestra se suele multiplicar por el factor de corrección por finitud } \left(1 - \frac{n}{N} \right), \text{ quedando la estimación del tamaño de muestra } n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot s^2}{\delta^2} \cdot \left(1 - \frac{n}{N} \right).$$

El error de estimación o absoluto (δ) se obtiene de una muestra piloto o de estudios previos.^{4,8}

2. Cálculo para determinar el tamaño de muestra de una proporción

El tamaño de muestra de una proporción se calcula como sigue: $n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p(1-p)}{\delta^2} \cdot \left(1 - \frac{n}{N} \right)$, donde $\delta = Z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$, se conoce como "precisión" del muestreo o error de la estimación

$\left(1 - \frac{n}{N} \right)$, es el factor de corrección por finitud de la población, p es la proporción estimada del parámetro poblacional y $Z_{\alpha/2}$ es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar, en donde se acumula la probabilidad de $(1-\alpha)$. El error absoluto (δ) se obtiene de una muestra piloto o estudios previos. Si no puede determinarse esta proporción, se tomará a $p = 0.5$, porque este valor garantizará el mayor tamaño de muestra. El nivel de confianza $(1-\alpha) \cdot 100$ que suele utilizarse en estas pruebas por lo general es del 95%. El intervalo de confianza para una proporción queda definido de la siguiente manera

$$IC = p \pm \delta = p \pm Z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (10,19)$$

3. Cálculo para el tamaño de muestra de la diferencia de dos medias independientes

La fórmula es: $n_1 = n_2 = \frac{2 \cdot S^2}{D^2} \cdot (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2$, donde n_1 es el tamaño de muestra para el grupo de referencia y n_2 es el del

grupo con una intervención alternativa, $D = (M_2 - M_1)$, M_1 es la media del primer grupo y M_2 es la media del segundo, S^2 es la varianza de ambas distribuciones, que se suponen iguales, Z_{β} es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar en donde se acumula la probabilidad de $(1-\beta)$. Esta fórmula para estimar $n_1 = n_2$ se emplea cuando se trata de un contraste de hipótesis bilateral; en caso de un contraste unilateral, se sustituirá $Z_{\alpha/2}$ por Z_{α} .^{2,10}

4. Cálculo para el tamaño de muestra de la comparación de dos medias repetidas (pareadas) en un solo grupo

La fórmula es: $n_1 = n_2 = \frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \cdot S^2}{d^2}$, donde d es el promedio

de las diferencias individuales entre los valores basales y posteriores, S^2 es la varianza de ambas distribuciones, que se suponen iguales. $Z_{\alpha/2}$ es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar, en donde se acumula la probabilidad de $(1-\alpha)$ para un contraste de hipótesis bilateral y Z_{β} es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar, en donde se acumula la probabilidad de $(1-\beta)$.¹⁹

5. Cálculo para el tamaño de muestra de la comparación de dos medias repetidas en dos grupos distintos de participantes

Se utiliza cuando se quiere comparar el cambio entre una medida basal y otra posterior de dos grupos distintos de sujetos. La fórmula para la estimación del tamaño de muestra de los grupos es la siguiente: $n_1 = n_2 = \frac{2 \cdot (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \cdot (1-p) \cdot S^2}{(M_{0c} - M_{0t})^2}$, donde M_{0c} es la diferencia entre los valores iniciales y los finales en el grupo de los controles y M_{0t} es la diferencia entre los valores iniciales y finales en el grupo con tratamiento.^{8,19}

6. Cálculo para estimar el tamaño de muestra de la diferencia de dos proporciones

La fórmula es: $n_1 = n_2 = \frac{p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2)}{(p_1 - p_2)^2} \cdot (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2$, donde p_1 es la proporción del primer grupo y p_2 es la proporción del segundo grupo a comparar y $(p_1 - p_2)$ es la diferencia de las proporciones entre ambos grupos, $Z_{\alpha/2}$ es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar en donde se acumula la probabilidad de $(1-\alpha)$ para un contraste de hipótesis bilateral y Z_{β} es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar, en donde se acumula la probabilidad de $(1-\beta)$.² Un ejemplo es el Reporte Nacional del Estatus de la Educación Médica en EUA.²⁰

7. Cálculo para el tamaño de muestra de la comparación de dos proporciones independientes

Cuando se tiene una tabla de contingencia de 2×2 y las condiciones se cumplen para aplicar una prueba *ji cuadrada*,

se puede utilizar esta aproximación para el cálculo del tamaño de la muestra de la comparación de proporciones independientes. La fórmula que Marragat y colaboradores

proponen es: $n_{c,e} = \frac{Z_{\alpha/2}^2 + \sqrt{Z_{\alpha/2}^2 + Z_{\beta}^2 + Q_c + P_c} + Z_{\alpha/2}^2 + \sqrt{Z_{\alpha/2}^2 + Z_{\beta}^2 + Q_e + P_e}}{(P_c - P_e)^2}$, donde

P es la proporción media de la proporción de eventos de interés del grupo control (c) y en el grupo en tratamiento (e), $Q_c = 1 - P_c$, P_c es la proporción de eventos de interés en el grupo control, $Q_e = 1 - P_e$, P_e es la proporción de eventos de interés en el grupo expuesto o en tratamiento, $Q_e = 1 - P_e$, y $(P_c - P_e)$ es la diferencia de las proporciones entre el grupo control y la proporción del grupo de expuestos.^{8,19}

8. Opción rápida y aceptable para el cálculo del tamaño muestral

Existe una fórmula simplificada para el cálculo del tamaño muestral para comparar dos medias, cuando se acepta un error bilateral alfa del 5% y una potencia del 80%.² Si se denomina diferencia estandarizada (DE) al cociente entre las diferencias de medias d y la desviación estándar s , tenemos: $DE = d/s$, por lo que, una fórmula abreviada, que sirve para estimar muy aproximadamente el tamaño de la muestra, es:

$$n = 16/(DE)^2$$

Cuando esta fórmula es utilizada para comparar dos proporciones,² la expresión es:

$$n = 16p_c q_c / d^2$$

Consideraciones especiales

1. Tamaño de muestra para estudios piloto

Se recomienda incluir entre 30 y 50 participantes, los cuales deben poseer los atributos que se desean medir en la población objetivo.²¹

2. Estrategias para minimizar el número necesario de participantes

Se basan en conseguir una población homogénea (desde los criterios de selección), disminuir la variabilidad de las medidas (aleatorizando, formando bloques) y aumentar la frecuencia de aparición del fenómeno de interés, por lo que deben aplicarse siempre que sea posible.^{2,17}

3. Software de utilidad

El uso de internet facilita obtener el tamaño de muestra empleando programas en línea. Los programas utilizan diferentes algoritmos matemáticos para efectuar el cálculo, y aunque esencialmente utilizan los mismos elementos, puede haber ligeras diferencias en el número de la muestra.

Entre los programas más utilizados están EPIDAT[®], G*Power[®] y Epi Info[®],⁸ de acceso libre. Hojas de cálculo como Excel[®], también son de utilidad. Entre los software de paga destacan Stata[®],¹⁶ SAS[®],²² STATISTICA[®] y Sigma-Plot[®],²³ por mencionar sólo algunos. Los dos últimos tienen la ventaja de poder graficar las funciones de estimaciones del tamaño de la muestra.

Hay que usarlos críticamente, siendo necesario comprender bien los principios del cálculo.

Conclusiones

La investigación educativa debe tener el mismo rigor metodológico que otras áreas científicas, incluido el cálculo del tamaño de la muestra. Hay que practicar una y otra vez, es decir, ser activos, para poder ser competente en la conceptualización de cómo estimar la función matemática del tamaño muestral. Al respecto, Abraham Flexner escribió "la medicina moderna, como toda enseñanza científica, está caracterizada por la actividad. Las conferencias y los libros no son sustitutos de las experiencias".

Contribución de los autores

JAGG, generador de la propuesta, búsqueda, recuperación y análisis de la información relacionada con el tema y redacción del manuscrito.

ARB, aportación de ideas para la estructura del documento, redacción del documento.

JCLA, asesoría continua, aportó comentarios y revisión del manuscrito.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Presentaciones previas

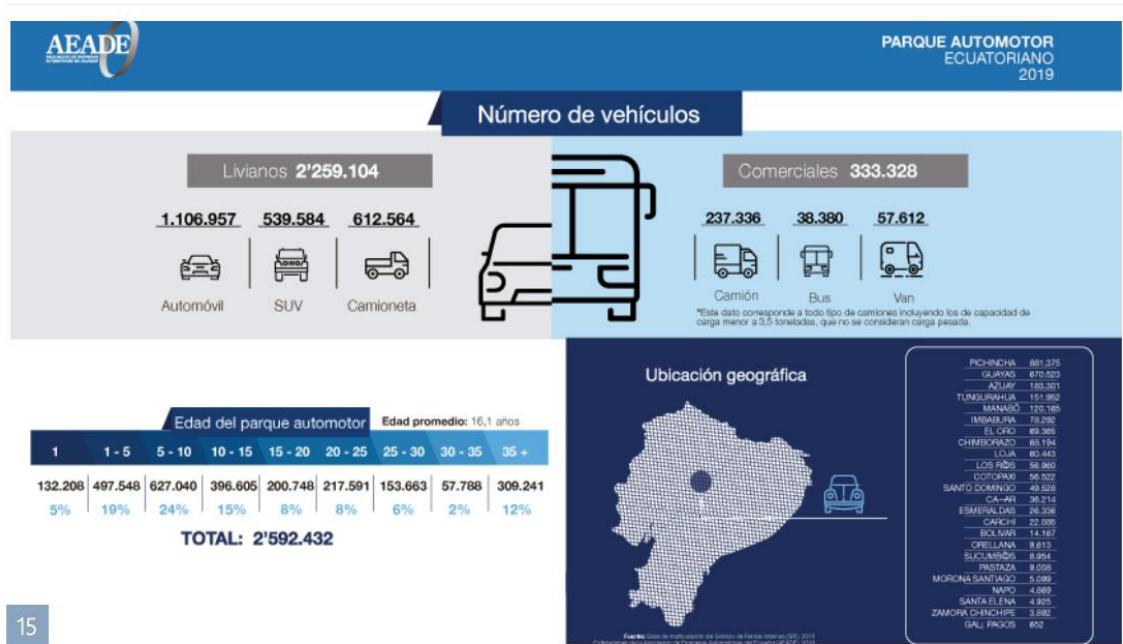
Ninguna.

Referencias

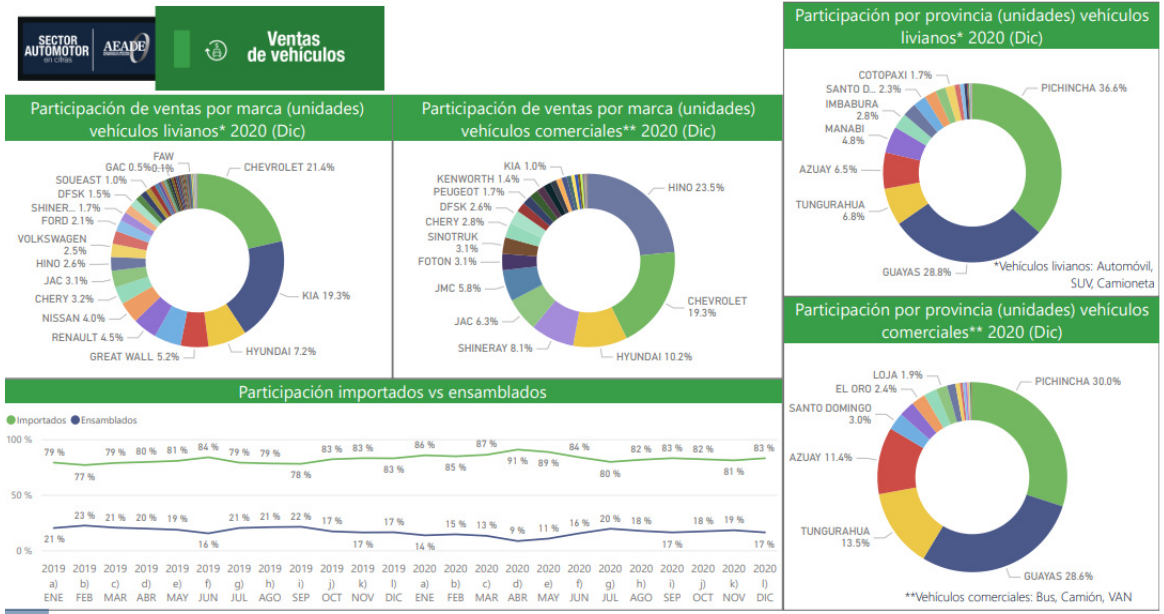
- Argimon PJM, Jiménez VJ. Métodos de investigación clínica y epidemiológica. 4ª edición. España: Elsevier; 2012. p. 140-158.
- Martínez GMA, Sánchez VA, Faulín FJ. Bioestadística amigable. 2ª edición. España: Díaz de Santos; 2006. p. 373-417.
- Consultado el 22 de marzo de 2013. <http://www.statsoft.com/textbook/power-analysis/>
- Fox N, Hunn A, Mathers N. Sampling and sample size calculation. The National Institutes for Health Research. USA: NIH RDS EM/ YH; 2009. p. 12-24.
- Cook DA, Beckman TJ. Reflections on experimental research in medical education. *Adv Health Sci Edu Theory Pract* 2010;15(3):455-464.
- Ringsted C, Hodges B, Scherpbier A. "The research compass": An introduction to research in medical education: AMEE Guide No 56. *Med Teach* 2011;33:695-709.
- Bennett JO, Briggs WL, Triola MF. Razonamiento estadístico. México: Pearson Educación; 2011. p. 333-361.
- López-Alvarenga JC, Reding-Bernal A. Cálculo del tamaño de la muestra: enfoque práctico de sus elementos necesarios. En: García-García JA, Jiménez-Ponce F, Arnaud-Viñas MR (eds.). Introducción a la metodología de la investigación en ciencias de la salud. México: McGraw-Hill Interamericana; 2011. p. 67-76.
- Consultado el 27 de febrero de 2013. http://www.carnegiefoundation.org/sites/default/files/elibrary/Carnegie_Flexner_Report.pdf
- López-Alvarenga JC, Reding-Bernal A, Pérez-Navarro M, et al. Cómo se puede estimar el tamaño de la muestra de un estudio. *Dermatol Rev Mex* 2010;54(6):375-379.

Anexo 11: Cifras sector automotor AEADE

Sector Automotor en cifras – Enero 2021 – AEADE. (s. f.). Recuperado 25 de agosto de 2022, de https://www.aeade.net/sdm_downloads/sector-automotor-en-cifras-enero-2021/



15

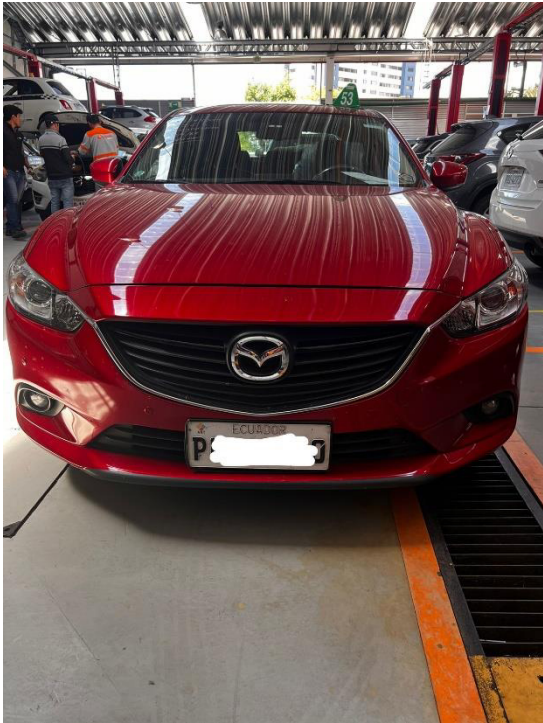


4

Fuente: AUTOPLUS - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).

Anexo 12: Materiales utilizados

Vehículos de la marca Mazda modelo CX-5



Vehículos de la marca Kia



Anexo 13: Procedimiento de medición de luminosidad en vehículos

Pasos para realizar la toma de datos en cada medición de luminosidad

- Para empezar, la practica debemos limpiar el área en donde vamos a realizar la medición, esta limpieza debe ser con un paño que no produzca rayaduras u opaque la pintura.



- Una vez limpia el área, se procede a encender el equipo de medición y que se realice la calibración automática.



- Para realizar la prueba de medición según como lo especifica la norma ASTM D523-14, se debe colocar en un área plana, donde el medidor de luminosidad obtendrá una correcta medición de la luminosidad de la pintura.



- Toma de datos



Anexos resultados y discusión

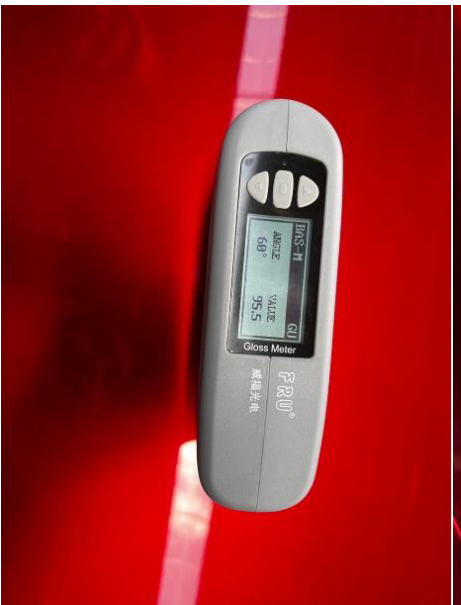
Anexo 14: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Mazda Cx-5 2017

Se realizo la toma de datos en 5 vehículos diferentes del mismo año y color.



Anexo 15: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Mazda Cx-5 2019

Se procedió a realizar la toma de datos mediante la medición de luminosidad en los siguientes 5 vehículos Mazda Cx-5 2019



Anexo 16: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Mazda Cx-5 2022

Se procedió a realizar la toma de datos mediante la medición de luminosidad en los siguientes 5 vehículos Mazda Cx-5 2022



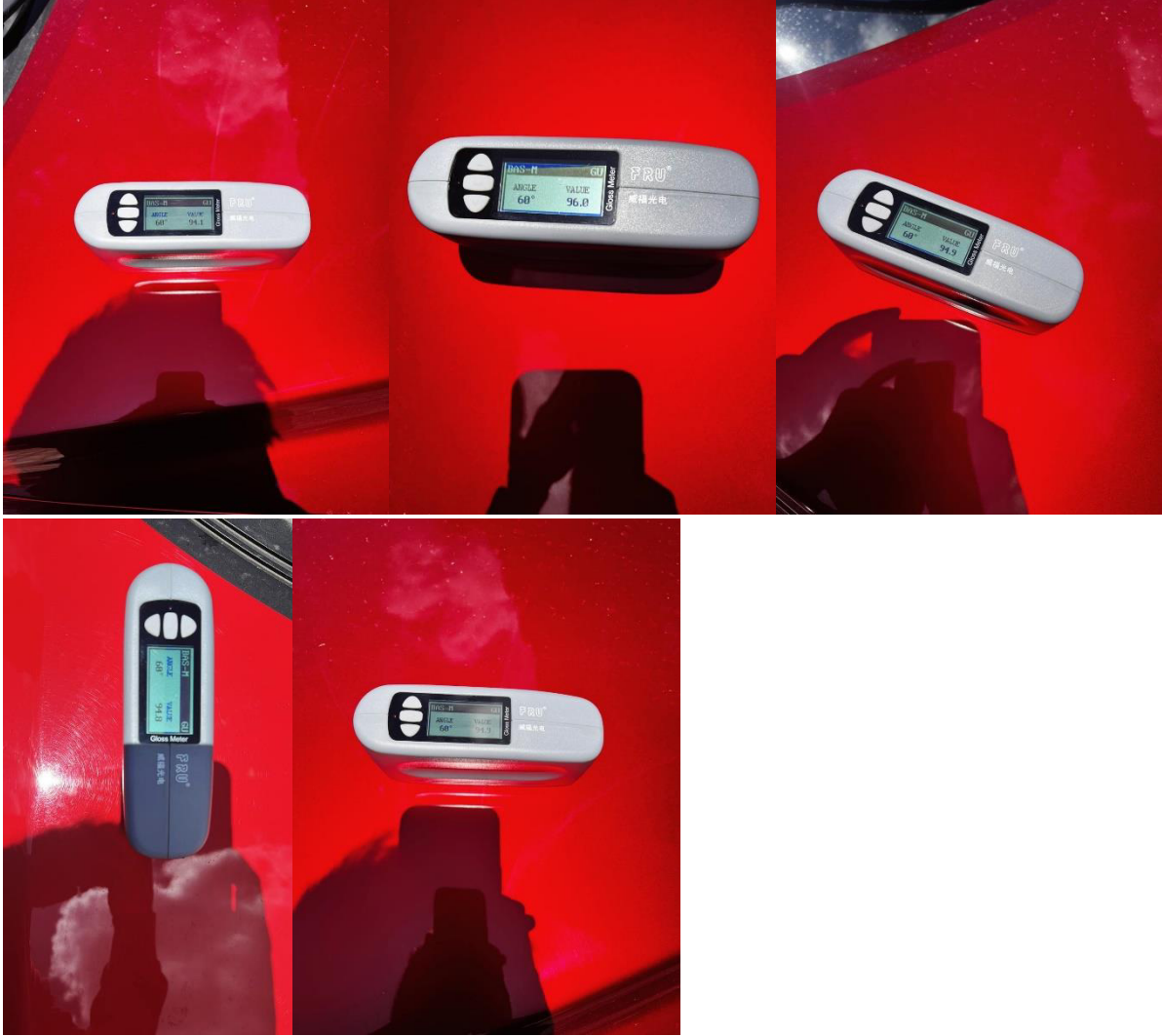
Anexo 17: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Kia Rio 2017

Se realizo las respectivas mediciones en los 5 vehículos Kia Rio 2017



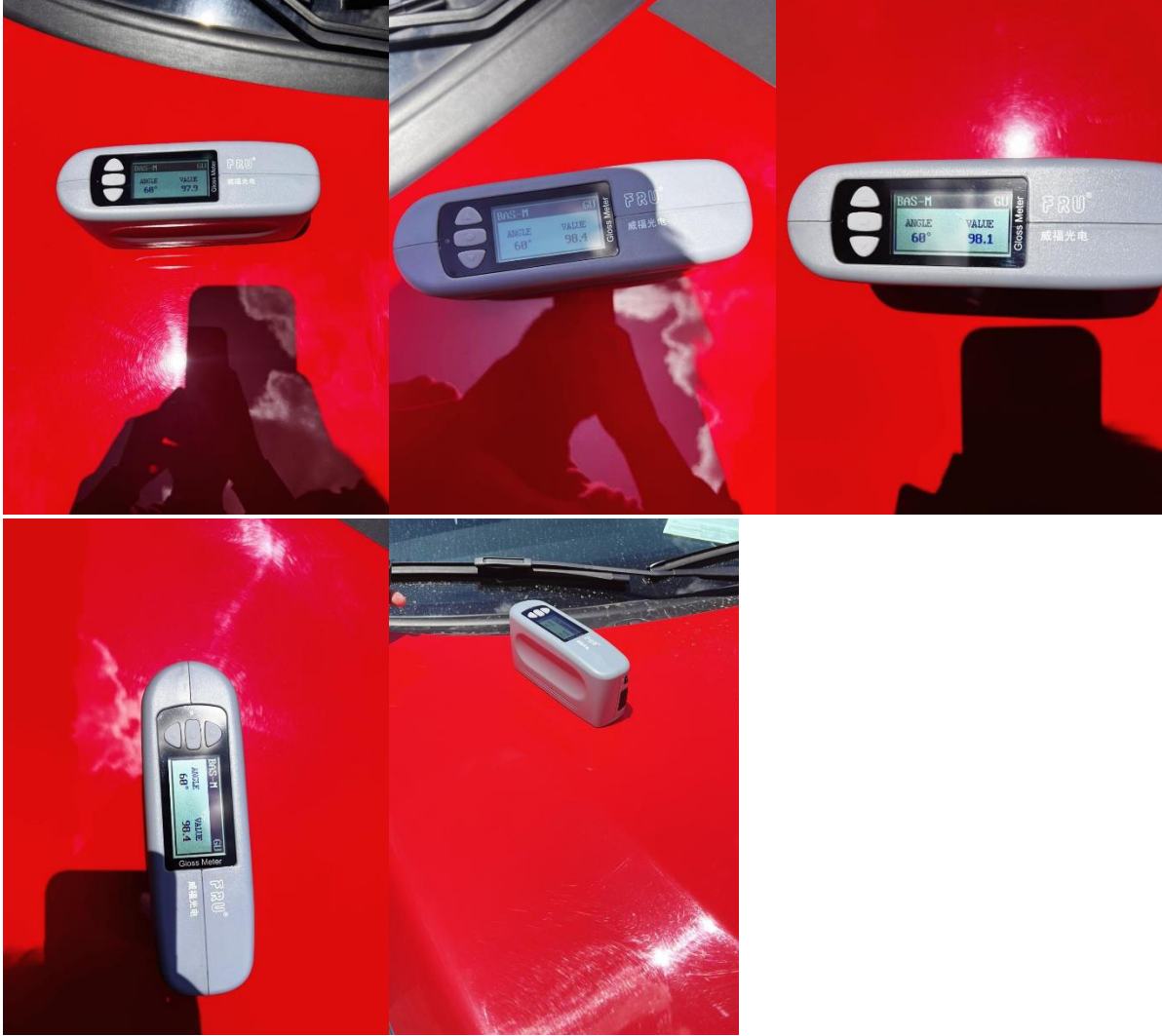
Anexo 18: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Kia Rio 2019

Se procedió a realizar la toma de datos mediante la medición de luminosidad en los siguientes 5 vehículos Kia Rio 2019



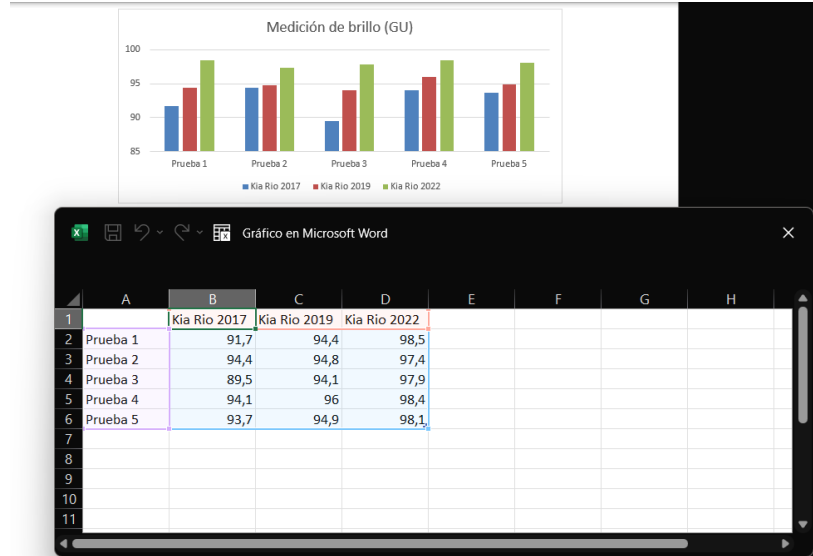
Anexo 19: Medición de luminosidad de pintura en vehículos Kia Rio 2022

Se procedió a realizar la toma de datos mediante la medición de luminosidad en los siguientes 5 vehículos Kia Rio 2022

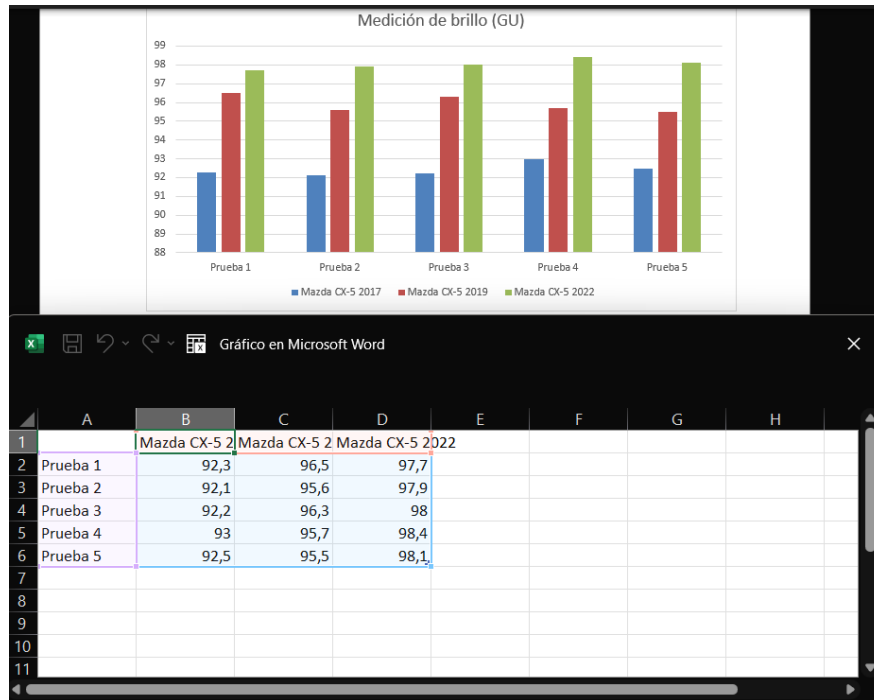


Anexo 20: Elaboración de tablas y graficas con los resultados obtenidos

- Se procedió a realizar mediante las tablas y graficas de los resultados obtenidos en las mediciones de los vehículos Kia Rio 2017, 2019 y 2022



- Se procedió a realizar mediante las tablas y graficas de los resultados obtenidos en las mediciones de los vehículos Mazda Cx-5 2017, 2019 y 2022



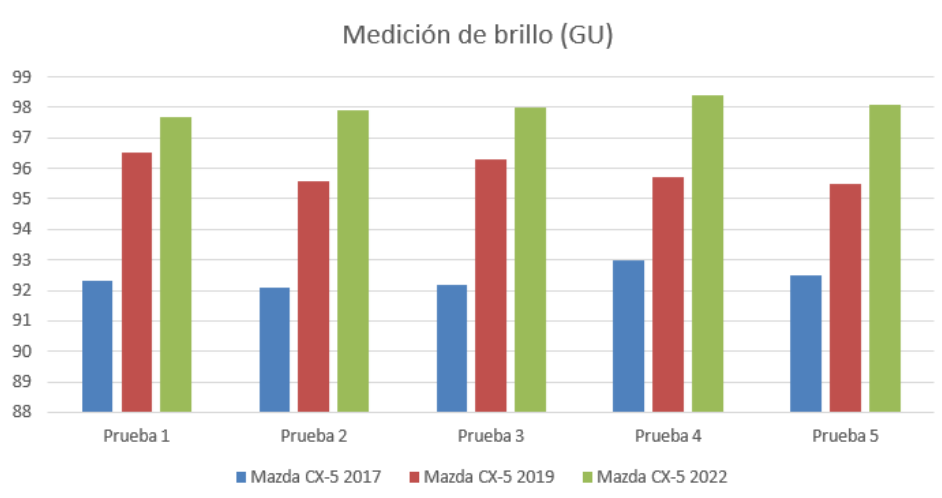
Anexo 21: Tabla de resultados Mazda CX-5

Tabla de resultados obtenidos de las 15 mediciones realizadas en vehículos Mazda 2017, 2019 y 2022

	MAZDA CX-5 2017	MAZDA CX-5 2019	MAZDA CX-5 2022
Angulo de proyección	60°	60°	60°
Medición de Brillo			
Ensayo 1	92.3 Gu	96.5 Gu	97.7 Gu
Ensayo 2	92.1 Gu	95.6 Gu	97.9 Gu
Ensayo 3	92.2 Gu	96.3 Gu	98.0 Gu
Ensayo 4	93.0 Gu	95.7 Gu	98.4 Gu
Ensayo 5	92.5 Gu	95.5 Gu	98.1 Gu

Anexo 22: Gráfica resultados Mazda Cx-5

Gráfica con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en los vehículos Mazda



Anexo 23: Tabla de resultados Kia Rio

Tabla con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en los 15 vehículos Kia 2017, 2019 y 2022

	KIA RIO 2017	KIA RIO 2019	KIA RIO 2022
Angulo de proyección	60°	60°	60°
Medición de Brillo			
Prueba 1	91.7 Gu	94.4 Gu	98.5 Gu
Prueba 2	94.4 Gu	94.8 Gu	97.4 Gu
Prueba 3	89.5 Gu	94.1 Gu	97.9 Gu
Prueba 4	94.1 Gu	96.0 Gu	98.4 Gu
Prueba 5	93.7 Gu	94.9 Gu	98.1 Gu

Anexo 24: Gráfica resultados Kia Rio

Grafica con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en vehículos Kia

