



Universidad de Valladolid



FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO FIN DE MASTER

Máster en Técnicas Avanzadas en Química.

Análisis y Control de Calidad Químicos...

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE UN INCOLORO PARA
PINTURAS**

Autora: Sara Villalba Antolín

Tutor empresa: Daniel Rincón

Tutor académico: José Bernal

2023/2024

ÍNDICE

1.	RESUMEN/ABSTRACT.....	6
2.	INTRODUCCIÓN	7
2.1.	COMPONENTES DE UNA PINTURA.	7
2.2.	TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE UNA PINTURA.	11
2.3.	ELABORACIÓN DE UNA PINTURA.	11
2.4.	PROPIEDADES DE UNA PINTURA.	12
2.4.1.	Viscosidad	12
2.4.2.	Extracto seco.....	15
2.5.	PARÁMETROS DE APLICABILIDAD DE PINTURA SECA.	16
3.	OBJETIVO Y ALCANCE.....	18
4.	PLAN DE TRABAJO.....	18
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1	MATERIALES Y USO DE MATERIALES.	19
5.2	MÉTODOS DE TRABAJO.....	20
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
6.1.	ESTUDIO DEL INCOLORO	23
6.1.1.	Viscosidad al añadir cada aditivo	23
6.1.2.	Viscosidad con respecto a la temperatura	23
6.1.3.	Viscosidad con respecto a la agitación.	24
6.2.	ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL INCOLORO.....	25
6.2.1.	Viscosidad	25
6.2.2.	Extracto seco.....	27
6.3.	ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DEL ESMALTE	29
6.3.1.	Ensayos sobre muestra líquida.	29

6.3.2. Ensayos sobre muestra sólida.....	31
7. CONCLUSIONES.....	32
8. ANEXOS	33
ANEXO I. INCOLORO Y ESMALTE FABRICADO	33
ANEXO II. ROBOT PARA PINTAR PLACA DE DESCUELGUES: SPRAYMATION.	33
ANEXO III: PLACAS DE DESCUELGUES DE LOS ESMALTES.....	34
ANEXO V: GRÁFICA DEL EXTRACCTO SECO EN ESTUFA Y TERMOBALANZA.....	35
9. BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE GRÁFICAS E IMÁGENES

Imagen 1. Capas de pintura de un automóvil.....	8
Imagen 2. Copa DIN4 utiliza en el experimento.	19
Imagen 3. Termobalanza analítica utilizada.	20
Imagen 4. Resina epoxi.....	20
Imagen 5. Grupo melanina.	20
Imagen 6. Panel de descuelgues.	22
Gráfica 1. Representación de la viscosidad con respecto al tiempo.....	25
Gráfica 2. Representación de la cantidad de disolvente añadido con respecto al tiempo.....	26
Gráfica 3. Representación del extracto seco con respecto al tiempo en estufa.	35
Gráfica 4. Representación del extracto seco con respecto al tiempo en termobalanza.	35

ÍNDICE DE TABLAS Y ECUACIONES

Tabla 1. Fórmula del esmalte.....	22
Tabla 2. Viscosidades de la muestra ajustada en su totalidad.	26
Tabla 3. Parámetros de viscosidad de los esmaltes y su ajuste correspondiente.	29
Tabla 4. Parámetros de resistividad y extracto seco de los esmaltes.....	30
Tabla 5. Parámetros mecánicos de los esmaltes.	31
Ecuación 1. Ecuación de Arrhenius.	12
Ecuación 2. Ecuación de Arrhenius con logaritmos neperianos.	13
Ecuación 3. Ecuación de Newton.	14
Ecuación 4. Ley de Hooke.	14
Ecuación 5.	15
Ecuación 6. Calculo del extracto seco.	15

1. RESUMEN/ABSTRACT

En el presente Trabajo Fin de Máster, realizado en el laboratorio de Control de Calidad de la empresa PPG Ibérica, se pretende estudiar la estabilidad de un incoloro de mezcla, XO5C119, analizando las posibles mejoras de su formulario, con el objetivo de prolongar su periodo de utilización en planta, reduciendo la cantidad de ajustes de viscosidad del producto acabado, disminuyendo así el tiempo de ciclo y aportando una mayor disponibilidad del producto final. Para lograrlo, se propone modificar el disolvente orgánico utilizado en fórmula, sustituyendo un alcohol con cadena hidrocarbonada de mayor masa molecular por uno de menor masa molecular.

Se presentan los resultados experimentales de dos parámetros líquidos: la viscosidad y el extracto seco, como referencia de propiedades de estabilidad. Analizando cómo varían en el tiempo con dicha modificación del disolvente en fórmula. Además, se evalúa el impacto de estos ensayos en la aplicabilidad del producto acabado.

In this Master's Thesis, carried out in the Quality Control laboratory of the company PPG Ibérica, the aim is to study the stability of a colorless mixture, XO5C119, analyzing the possible improvements of its formulation, with the objective of prolonging its period of use in the plant, reducing the amount of viscosity adjustments of the finished product, thus reducing the cycle time and providing a greater availability of the final product. To achieve this, it is proposed to modify the organic solvent used in the formula, substituting an alcohol with a hydrocarbon chain of higher molecular mass for one of lower molecular mass.

Experimental results are presented for two liquid parameters: viscosity and dry extract, as a reference for stability properties. Analyzing how they vary in time with such modification of the solvent in formula. In addition, the impact of these tests on the applicability of the finished product is evaluated.

2. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster se ha llevado a cabo en el laboratorio de Control de Calidad, QAS de la empresa PPG Ibérica, S.A. Multinacional ubicada en la carretera Segovia, en Laguna de Duero, Valladolid, dedicada principalmente a la fabricación de recubrimientos para automóviles¹.

El presente estudio se enfoca en la elaboración y mejora de estabilidad de un incoloro, compuesto por resinas, aditivos y disolventes, utilizado en la fabricación de esmaltes destinados a uno de los clientes Premium de PPG. La finalidad es modificar el disolvente en fórmula y comprobar el grado de mejora de estabilidad. Este incoloro es de gran utilidad, ya que al ser fabricado previamente, permite que las pinturas se produzcan con mayor rapidez y facilidad. Esto se debe a que se mantiene un stock permitiendo la producción continua de esmaltes sin interrupciones, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad, evitando así la necesidad de fabricar el incoloro cada vez que se produce un esmalte. Este incoloro se emplea en la producción de todos los esmaltes para dicho cliente de PPG, realizando 56 tipos de esmaltes y una producción anual de 54.168 kg al año.

Primero se presenta un resumen general sobre las pinturas y sus diversas materias primas, así como el proceso de fabricación y elaboración correspondiente.

2.1. COMPONENTES DE UNA PINTURA.

Un automóvil presenta varias capas en la carrocería. En primer lugar la cataforesis, es decir, la chapa del coche que se puede dar sumergiendo éste en una cuba de fosfatación o mediante el uso de un spray, con el fin de protegerle. La segunda capa corresponde con la imprimación o primer, base de color blanca o negra sobre la que aplicar el color. La tercera el esmalte o base, que proporciona el acabado al color. Y por último, el barniz, capa que solo se da cuando la tercera capa es una base.² PPG se dedica a la fabricación desde la segunda capa hasta la última, correspondiente a los barnices.

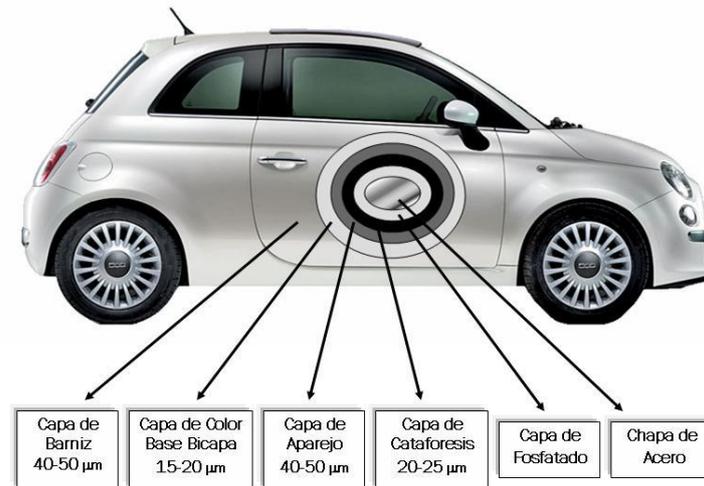


Imagen 1. Capas de pintura de un automóvil.

Existen una gran cantidad de pinturas. Una pintura es una mezcla coloidal y heterogénea que, al ser aplicada, se transforma en una película continua y uniforme.³ Además, las pinturas son fluidos no newtonianos, lo que significa que su resistencia a la deformación varía según la presión aplicada. Cada pintura presenta una fórmula diferente, dependiendo de si es un primer, una base o un barniz. Sin embargo, la mayoría se encuentra formada por cuatro componentes esenciales: pigmentos, resinas, disolventes y aditivos, donde cada uno aporta ciertas propiedades a la pintura.⁴⁵ Además, muchas de ellas presentan catalizadores o endurecedores.

Los pigmentos son polvos, normalmente óxidos naturales o artificiales, sales metálicas o pigmentos orgánicos. Se utilizan para dar tanto el color buscado; como la protección, es decir, defender la superficie de los daños; el encubrimiento, capacidad que presentan las pinturas para ocultar la superficie que se está cubriendo y, el acabado, en relación a que la pintura presente o no brillo. Los más utilizados en esta industria son el dióxido de titanio, el óxido de cromo o los cromatos de plomo y zinc.⁶⁷

Las resinas o aglutinantes son la base de todas las pinturas, podemos señalar las siguientes propiedades: favorecen la adherencia de la pintura a las superficies, mantienen unidas las partículas que forman los pigmentos y crean una capa de protección sobre la superficie de la pintura. Los polímeros desempeñan un papel crítico en las pinturas al proporcionar una amplia gama de propiedades que caracterizan los distintos tipos de productos. Estas propiedades incluyen la resistencia química frente a agentes corrosivos, la dureza para

resistir rasguños y abrasiones, la elasticidad que evita fisuras ante movimientos estructurales, la adherencia efectiva a diferentes sustratos, la viscosidad adecuada para facilitar la aplicación uniforme, y el tiempo de secado optimizado para mejorar la eficiencia del proceso de pintado.

Hay resinas sintéticas o naturales, las más utilizadas para la fabricación de automóviles son⁸:

- Las resinas poliéster, las cuales se obtienen de la condensación de un ácido con un alcohol y un monómero insaturado, normalmente el estireno. Estas resinas presentan una gran resistencia al calor, son termoestables, y una alta estabilidad química, eléctrica y mecánica. También son duras y resistentes a los rayos ultravioleta y al agua.^{9 10}
- Las resinas epoxi son un derivado del petróleo y requieren la colaboración de otros factores para su endurecimiento completo como resinas de melanina, compuestos poliamínicos o resinas epoxi esterificadas con ácidos grasos. La combinación de las resinas epoxi con los compuestos poliamínicos da lugar a esmaltes o imprimaciones que se endurecen al mezclarse. Tienen una gran resistencia química, eléctrica y térmica, además de altas propiedades de adhesión y muy buen aislamiento eléctrico.¹¹
- Las resinas melamina, son resinas sintéticas que se obtienen de la reacción entre la melamina, compuesto sólido que proviene de la urea, y el formaldehído. Presentan buena resistencia a la abrasión y a la deformación. Los materiales que presentan este tipo de resina son generalmente duros, rígidos y pueden ser expuestos a temperaturas bajas sin que se vuelvan frágiles. Una vez utilizadas no pueden volver a utilizarse.¹²

Los disolventes desempeñan un papel fundamental en las pinturas al facilitar su aplicación, manteniendo el producto en estado líquido durante la fabricación y almacenamiento. Además de facilitar el grado de movilidad de las resinas y regular la velocidad de evaporación, los co-solventes son clave para optimizar las propiedades y el rendimiento final de las pinturas. Controlan la viscosidad para asegurar la manejabilidad del producto, debido a las interacciones que ocurre dentro de la mezcla y determinan el tiempo de secado del

recubrimiento.¹³ Las dos características más significativas de los disolventes son su capacidad solvente, medida típicamente por el índice kauri-butanol, y su velocidad de evaporación, que se representa mediante la curva de evaporación. Estos disolventes pueden ser de tipo orgánico polares, como el agua, las cetonas y los alcoholes, donde disminuyen tanto la viscosidad como la resistividad u orgánicos apolares, como el xileno y los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, donde disminuyen la viscosidad y aumentan o mantienen la resistividad de las pinturas.¹⁴

Los aditivos se añaden en pequeñas cantidades para facilitar la fabricación de la pintura, mejorar las características de la película seca, asegurar un secado adecuado y estabilizar la pintura durante el almacenamiento. Estos compuestos mejoran varias propiedades específicas de las pinturas, como la resistencia al moho, la formación de una delgada película sobre una superficie, la fluidez y la nivelación, es decir, la formación de una película uniforme. Dentro de este grupo se encuentran los humectantes y dispersantes, que ayudan en el mojado de pigmentos y cargas, así como en su dispersión y estabilización; los espesantes, que ajustan la consistencia deseada; los agentes reológicos, que controlan el comportamiento de la pintura durante y después de la aplicación; y otros aditivos como antioxidantes, gelificantes, antimoho y antiespumantes, entre otros.¹⁵

Los catalizadores o endurecedores más utilizados son compuestos peróxidos, los cuales al descomponerse reaccionan con los dobles enlaces, iniciando así la polimerización de la película de barniz o pintura. Además de estos catalizadores, se emplean agentes acelerantes de secado, generalmente sales metálicas, que colaboran en la descomposición de los peróxidos. La temperatura juega un papel fundamental, ya que acelera este proceso de descomposición, aumentando la velocidad de la reacción de polimerización de la resina de poliéster y asegurando un endurecimiento más rápido del recubrimiento. Estos componentes ayudan a formar una película de pintura dura y duradera en el tiempo.¹³

La pintura, compuesta por todos estos elementos, debe exhibir propiedades fundamentales como durabilidad en aplicaciones automotrices, un acabado estético de alta calidad, y la capacidad de proteger la chapa del vehículo.

2.2. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE UNA PINTURA.

Existen tres técnicas para la fabricación de pinturas para carrocerías según el tipo de base que se esté utilizando:

1. Base disolvente, donde se utilizan disolventes orgánicos.
2. Base sólida, la cual utiliza directamente el polvo que se fija a través del campo eléctrico. Aplicación típica en la industria de perfumería y lavadoras.
3. Hidrosoluble, en la que se emplea el agua como disolvente mayoritario, siendo una tecnología más beneficiosa para el medioambiente. El creciente desarrollo y uso de este tipo de pinturas aborda de manera efectiva varios problemas simultáneamente. Por un lado, contribuye significativamente a reducir el impacto ambiental al eliminar la emisión de grandes cantidades de disolventes orgánicos a la atmósfera y por otro lado, desde la perspectiva de la seguridad, estas pinturas ayudan considerablemente a mitigar los riesgos de incendio.

2.3. ELABORACIÓN DE UNA PINTURA.

La fabricación de pinturas es un proceso complejo que comprende varias etapas para asegurar que el producto cumpla con los estándares de calidad y rendimiento requeridos. En primer lugar, se lleva a cabo la molienda de los pigmentos para garantizar una distribución uniforme del color en la pintura. Posteriormente, se realiza la mezcla y agitación para asegurar la homogeneidad de todos los componentes que conforman la pintura. El control de la viscosidad, consiste en asegurar que la pintura tenga un aspecto de fluidez homogéneo en todas las producciones, ajustándose a las necesidades específicas de su aplicación. La filtración sigue a continuación para eliminar impurezas y partículas no deseadas, asegurando así una alta calidad del producto final. Finalmente, se procede al envasado y almacenamiento, donde un sellado hermético de los envases es fundamental para prevenir la contaminación y la evaporación de los disolventes.



Esquema 1. Esquema de fabricación completo de una pintura.

Para las pinturas a base de agua, antes del control de la viscosidad se realiza una etapa adicional de emulsificación. Esta técnica es necesaria para asegurar una dispersión uniforme de los ingredientes oleosos en el medio acuoso, facilitando así la posterior mezcla y asegurando la calidad homogénea del producto final.¹⁶

2.4. PROPIEDADES DE UNA PINTURA.

En todas las pinturas se analizan diferentes parámetros líquidos pero los más importantes son la viscosidad y el extracto seco, y ambos tienen que encontrarse dentro de los límites de especificación marcados por el cliente.

2.4.1. Viscosidad

La viscosidad es una propiedad física que presentan los líquidos y que indica la resistencia que ofrecen los fluidos a cambiar de forma cuando están sometidos a fuerzas.¹⁷ Determina la facilidad con la que la pintura se puede aplicar y su comportamiento durante el proceso de secado. La viscosidad es crítica para garantizar que la aplicación sea uniforme, evitar descuelgues y asegurar que la pintura se adhiera de manera correcta a la superficie.

- Factores

Los factores que afectan a la viscosidad en este tipo de producto son la temperatura, la composición y el tiempo de almacenamiento:

Temperatura: La ecuación de Arrhenius relaciona la viscosidad con la temperatura.

$$\mu = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

Ecuación 1. Ecuación de Arrhenius.

Siendo; μ la viscosidad dinámica en mPa·s; A y B: constantes dependientes del líquido y T la temperatura absoluta en K.

$$\ln \mu = \ln A + B \cdot \frac{1}{T}$$

Ecuación 2. Ecuación de Arrhenius con logaritmos neperianos.

Como se ve en la fórmula, la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura. Esto es debido a que, con el aumento de la temperatura, la energía cinética supera las fuerzas viscosas, provocando una disminución de la viscosidad.

Composición: La cantidad que se añade de resinas, disolventes, pigmentos y aditivos pueden alterar la viscosidad. Principalmente las resinas y disolventes.

Tiempo de almacenamiento: La viscosidad puede cambiar con el tiempo debido a la evaporación de disolventes o la sedimentación de los pigmentos.

- Técnicas

Existen varias técnicas para medir la viscosidad, los más habituales en la industria del automóvil son las siguientes.

Viscosidad en copa, miden la viscosidad basándose en el tiempo que tarda un volumen en fluir a través del orificio. Estos viscosímetros se utilizan para la medición de productos fluidos como pueden ser los esmaltes, barnices, imprimaciones, entre otros. Pero no son adecuados para productos tixotrópicos, ya que estos dejan de fluir antes de completarse el vaciado. Los compuestos tixotrópicos se vuelven más viscosos al estar en reposo, recuperando su estructura interna y aumentando su resistencia al flujo. En cambio, cuando se agitan o se mueven, su estructura interna se rompe y se vuelven más líquidos, reduciendo su viscosidad temporalmente. La repetibilidad de este tipo de mediciones depende de varios factores: la precisión dimensional de las medidas de la copa, la constancia de la temperatura durante el ensayo y el comportamiento del flujo newtoniano.

Viscosidad en reómetro, este equipo mide la resistencia ofrecida por un fluido sometido a un esfuerzo de cizalla, el comportamiento viscoelástico y la respuesta bajo condiciones de estrés y deformación.¹⁸

La reología¹⁹ es la ciencia que estudia las propiedades de deformación de los fluidos cuando se encuentran sometidos a diferentes esfuerzos. Su estudio es esencial en muchas industrias para mejorar la eficiencia de los procesos de producción, asegurar la calidad del producto, desarrollar nuevas formulaciones, predecir el comportamiento del producto en su uso final y mantener la estabilidad durante el almacenamiento, como es en el caso de las pinturas.

El campo de este tipo de técnica se extiende desde la mecánica de fluidos newtonianos hasta la elasticidad de Hooke.

Según Newton decía que “La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él”. Por ello obtuvo la siguiente fórmula, aplicable para fluidos newtonianos:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \mu \cdot \dot{\gamma}$$

Ecuación 3. Ecuación de Newton.

La tensión de cizalla o esfuerzo constante (τ) es proporcional al gradiente de velocidad (dv/dy) y a la viscosidad de corte (μ).

Otra fórmula importante que apareció en la misma época que la de Newton fue la Ley de Hooke. Donde relaciona el módulo de rigidez (G) con la tensión de cizalla (τ) y la deformación de la sustancia (γ).

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Ecuación 4. Ley de Hooke.

Si se aplica una carga sobre un cuerpo sólido va a sufrir una cierta deformación. Esta deformación se va a mantener hasta que cese el esfuerzo que se ha aplicado.

Cualquier fluido se deformará en menor o mayor medida si es sometido a un sistema de fuerzas externas. Dicho sistema de fuerzas se representa de forma matemática mediante el esfuerzo cortante. Ese esfuerzo se define como la fuerza por unidad de área; esto se refleja en la siguiente fórmula.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Ecuación 5.

Las unidades en las que se expresa esta capacidad de fluir, es decir, la viscosidad (μ) son mPa·s en el Sistema Internacional.

2.4.2. Extracto seco

El extracto seco es la propiedad que determina el contenido en sólidos de una pintura. Este método consiste en pesar una determinada cantidad y realizar un secado de la muestra, produciéndose la evaporación de los disolventes que contiene. Una vez que esté completamente seca y fría se procede nuevamente a su pesada. Mediante diferencia de pesadas se obtiene el valor, en porcentaje, del extracto seco.²⁰

El extracto seco se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Extracto seco} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso Húmedo}} * 100$$

Ecuación 6. Calculo del extracto seco.

Dónde, peso seco: es el peso de la muestra después de eliminar todo el disolvente y el peso húmedo: es el peso inicial de la muestra antes de realizar el secado.²¹

Los equipos para realizar el extracto seco son la estufa o la termobalanza analítica:

- Las estufas son dispositivos que están diseñados para generar y mantener el calor de manera controlada, siendo utilizadas en una variedad de aplicaciones domésticas como industriales. Una de las aplicaciones industriales específicas de las estufas es la determinación del extracto seco en los laboratorios de control de calidad. Están

formadas por controles precisos de temperatura y son capaces de mantener temperaturas constantes durante periodos de tiempo largos.²²

- La termobalanza analítica es un instrumento fundamental en el campo de la investigación y la industria para el análisis térmico y gravimétrico de materiales. Se utiliza principalmente para estudiar cambios de masa en una muestra en función de la temperatura, permitiendo caracterizar diversas propiedades físicas y químicas de los materiales. Combina dos tecnologías: la termogravimetría (TGA) y la balanza analítica. En la TGA, una muestra se calienta de manera controlada en una atmósfera específica (normalmente oxidante o inerte), y se registra la variación de masa que ocurre debido a procesos como la descomposición, la oxidación, la reducción, la sublimación o la desorción.²³

2.5. PARÁMETROS DE APLICABILIDAD DE PINTURA SECA.

En control de calidad se realizan ensayos con el fin de asemejar el comportamiento de la pintura en la línea de fabricación de los automóviles. El ensayo más importante, tratado en este trabajo, es la aplicación de descuelgues y hervidos, donde se estudian estos dos parámetros considerados defectos en la pintura.

Los descuelgues en las pinturas se refieren a la tendencia del producto aplicado a fluir y formar gotas o líneas visibles debido a una viscosidad insuficiente o a una aplicación excesiva. Esto puede ocurrir cuando la capa de pintura es demasiado delgada o se aplica en capas de excesivo micraje, lo que dificulta la formación de una capa uniforme y lisa sobre la superficie.

Otro parámetro que se considera un defecto en la pintura son los hervidos²⁴, conocidos también como burbujas de disolventes, son similares a las burbujas que se crean cuando un líquido está hirviendo. Estas aparecen cuando el disolvente queda encerrado tras secarse la superficie de la capa superior.²⁵

En la fabricación de las pinturas, cada cliente presenta unas especificaciones. Esto asegura que al aplicar la pintura en un automóvil con un espesor de capa específico, no se producirán descolgamientos y se obtendrá un acabado uniforme.

La formulación de las pinturas para coches es un proceso complejo que incluye una variedad de componentes, cada uno de los cuales desempeña un papel en el rendimiento final del recubrimiento. La investigación continua y el desarrollo en este campo aseguran que las pinturas no solo proporcionen una buena apariencia estética sino también una protección duradera y eficiente para los vehículos.

3. OBJETIVO Y ALCANCE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Máster son los siguientes.

1. Realizar un estudio de mejora de la estabilidad del incoloro XO5C119 para aumentar su periodo de utilización en planta, reducir el número de ajustes de calidad necesarios y, en consecuencia, disminuir el tiempo de ciclo del producto.
2. Detallar el nivel de impacto de la propuesta de cambios en fórmula en el incoloro y en la aplicabilidad del producto acabado.

El alcance que se busca es analizar todos aquellos productos que en fórmula presenten el incoloro en estudio.

4. PLAN DE TRABAJO

1. Búsqueda bibliográfica para conocer los diferentes ingredientes del incoloro a estudiar, así como la fórmula necesaria para realizar el experimento.
2. Estudio de la evolución del incoloro mediante el seguimiento de los parámetros líquidos de viscosidad y extracto seco a lo largo del tiempo. Se llevará a cabo la fabricación del incoloro con su fórmula actual, así como varios ensayos con modificaciones en el disolvente orgánico, con el objetivo de determinar el grado de mejora al realizar este cambio.
3. Realización de los experimentos propuestos para cumplir los objetivos previstos utilizando las técnicas adecuadas.
4. Tratamiento de los datos obtenidos, análisis e interpretación de los resultados.
5. Fabricación del esmalte a partir de los incoloros anteriores y estudio de su aplicabilidad.
6. Redacción de la memoria en la que se recoge detalladamente lo realizado en el laboratorio durante el periodo de investigación.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIALES Y USO DE MATERIALES.

Para la fabricación del incoloro se han utilizado los reactivos necesarios en purezas superiores al 99% (resinas, aditivos y disolventes), agitadores eléctricos, pipetas de 2 mL y botes de aluminio de 1 kg.

Para poder medir la viscosidad tanto del incoloro como del esmalte se ha utilizado la copa DIN4, un termómetro y un cronómetro, para medir el tiempo. Además, es necesario un baño termostático, mediante estos baños se atempera la muestra a la temperatura correspondiente, en este caso a 23^o C para su correcta medida.

La copa DIN4 es una herramienta que permite medir la viscosidad que tienen las pinturas. La viscosidad se calcula a través del volumen de flujo y el tiempo medido, que el líquido necesita para pasar por la boca pequeña de la copa. Para ello, la pintura se añade a la copa, se enrasa y se deja caer midiendo el tiempo que transcurre hasta que el flujo deja de ser constante.²⁶



Imagen 2. Copa DIN4 utilizada en el experimento.

Para obtener el porcentaje de extracto seco se ha necesitado una estufa a 105^oC, cápsulas de aluminio de 50 mm, pipetas de 2 mL y una balanza analítica. Además también se han medido en una termobalanza analítica y para ello se han utilizado cápsulas de 113 mm.

En ambos métodos, se han realizado 3 medidas por muestra y por día. Y los resultados que se han obtenido son la media de ellos.



Imagen 3. Termobalanza analítica utilizada.

5.2 MÉTODOS DE TRABAJO.

La fórmula empleada para fabricar el incoloro se compone principalmente de resinas tipo epóxido y melamina en mayor proporción, junto con aditivos en menor cantidad, complementada con un 0,8% de disolvente orgánico.

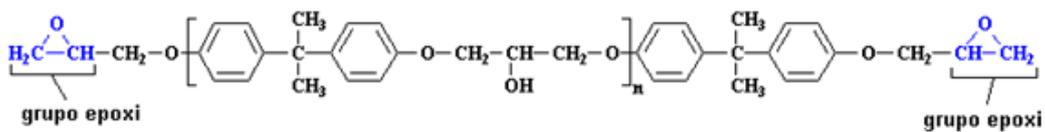


Imagen 4. Resina epoxi.

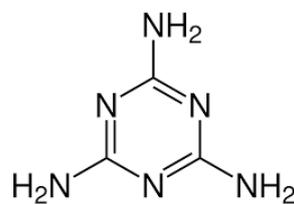


Imagen 5. Grupo melamina.

En primer lugar, se fabricó el incoloro utilizando sus respectivos ingredientes, agregando las resinas una a una con agitación, así como los distintos aditivos. Una vez creada esta mezcla, se agregó la proporción especificada del disolvente para cada ensayo.

- E1: fórmula tal cual del incoloro, utilizando como disolvente trideciloalcohol en una proporción del 0,8%. Se utiliza como punto de partida del estudio.
- E2: cambio en el disolvente de fórmula. Se utiliza butanol en una proporción del 0,7%.
- E3: se utiliza como disolvente butanol en una proporción del 1,5%, sin que afecte de una manera inadecuada al extracto seco.

Tanto el trideciloalcohol como el butanol se utilizan para crear un medio en el cual generar una mezcla homogénea, una solución, facilitando su aplicación y la formación de películas uniformes.²⁷ El disolvente seleccionado para realizar el cambio debía cumplir con las siguientes propiedades: no evaporarse rápidamente y poder ser fabricado en condiciones industriales, lo que reduciría su costo. Por estas razones se optó por el butanol. Además, el butanol, al ser un alcohol con un peso molecular menor que el trideciloalcohol, facilita las interacciones de Van der Waals con las resinas debido a su menor impedimento estérico, lo que contribuye a una mayor estabilidad en la pintura.

Para la fabricación del esmalte o producto acabado, se empleó inicialmente la fórmula descrita en la Tabla 1. Esta fórmula contiene el incoloro como componente principal, junto con pastas (pigmentos y disolventes) que proporcionan el color, así como diversos disolventes que juegan un papel crucial para facilitar la aplicación y mejorar la consistencia del producto.

Tabla 1. Fórmula del esmalte.

%	COMPONENTES
79 %	Incoloro
11 %	Pastas
9 %	Disolventes

Una vez fabricados los esmaltes, se ha pintado un panel donde se pueden observar los descuelgues y hervidos. Presenta 10 orificios en diagonal con un diámetro de 1 cm cada uno y un tamaño de 250 x 320 mm. (*Imagen 6*)



Imagen 6. Panel de descuelgues.

Esta placa se ha pintado con ayuda de un robot, la spraymation, realizando un degradado, a partir de 20 μm , para ver en qué espesor se produce fluidez en los orificios y burbujas, los cuales simulan situaciones equivalentes en el coche.

Las condiciones utilizadas para pintar los paneles han sido: 128 tips, esto indica como de abierto está el abanico de la pistola, a una velocidad de 500 y con un índice de 3, lo que marca es la distancia entre una mano de pintura y la siguiente. Además las placas se han estufado 30 minutos a 130°C, dejando 3 minutos de flash antes de introducirlas en la estufa.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ESTUDIO DEL INCOLORO

Se han realizado varios estudios basados en la fabricación y el control de calidad del incoloro. Un primer estudio con el fin de analizar cómo afectan las diferentes materias primas que forman el incoloro a la viscosidad. Un segundo estudio con el objetivo de conocer el efecto que presentan factores como la temperatura y la agitación en el control de la viscosidad del incoloro.

6.1.1. Viscosidad al añadir cada aditivo

Se ha observado si al añadir los distintos aditivos que lleva el incoloro, la viscosidad varía. Esta viscosidad se ha medido a través de la copa DIN4 a 23°C, realizando cada medida por triplicado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Inicialmente el incoloro presenta una viscosidad de 170" con solo las resinas que presenta.
- Al añadir el primer aditivo la viscosidad ha quedado en 111".
- Al añadir el segundo aditivo a la lata, la viscosidad es de 112", muy similar a la anterior medida.
- Al añadir el tercer y último aditivo, la viscosidad ha sido de 114".

Se observa que al añadir cada uno de los aditivos, la viscosidad del incoloro varía muy poco. La cantidad de los aditivos se incorpora de manera controlada para asegurar que la viscosidad de la pintura se mantenga dentro de los parámetros específicos necesarios para la aplicación y el rendimiento del producto final.

Por lo que, el incoloro presenta viscosidades altas debido a las resinas, ya que estos compuestos son muy viscosos.

6.1.2. Viscosidad con respecto a la temperatura

Se estudió diferentes días y realizando por cada día, el cambio de la viscosidad con respecto a la temperatura, para ello se utilizó el incoloro E1.

A través de este experimento se observa que la viscosidad varía significativamente con respecto a la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, la viscosidad disminuye considerablemente, como se muestra en la ecuación 2 de la introducción. Esto se debe a que el aumento de temperatura incrementa la agitación molecular y reduce las fuerzas de atracción entre las moléculas del fluido, lo que facilita su flujo y conduce a una disminución en su viscosidad. Lo cual es un parámetro muy relevante a considerar.²⁸ Se registra una variación mayor a 10 unidades entre las diferentes temperaturas.

6.1.3. Viscosidad con respecto a la agitación.

Se ha investigado si la viscosidad del incoloro varía según el grado de agitación previo a su medición.

- Con agitación manual (con ayuda de una espátula), la viscosidad es de 126".
- Con agitación mecánica a escala de laboratorio durante 8 minutos a 900 rpm (según normativa), la viscosidad es de 127"

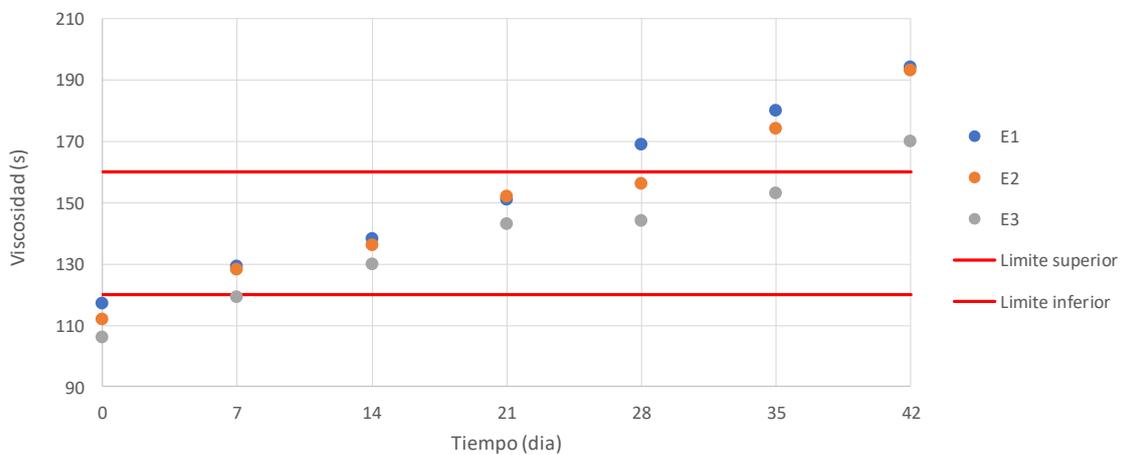
Se ha observado que no hay variación en la viscosidad cuando el producto se agita de manera más suave. Por lo que no se considera un factor crítico en el proceso de control de la viscosidad del incoloro.

6.2. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL INCOLORO

Se ha realizado el estudio de la estabilidad de los ensayos descritos anteriormente. Dicha estabilidad viene dada por la evolución de dos parámetros líquidos muy importantes en las pinturas, la viscosidad y el extracto seco. Por ello, se ha realizado un seguimiento de estos parámetros frente al tiempo, obteniendo así los siguientes resultados.

6.2.1. Viscosidad

Se ha estudiado la viscosidad de los tres incoloros con respecto al tiempo. Para ello se ha hecho tres medidas y se ha obtenido la siguiente gráfica con la media de ellas. Donde las especificaciones de la viscosidad para este producto son 120" - 160" en la copa DIN4 a 23°C.

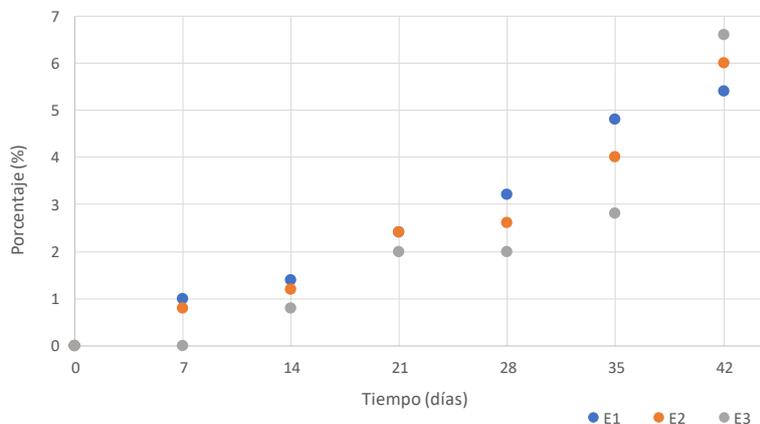


Gráfica 1. Representación de la viscosidad con respecto al tiempo.

En la *Gráfica 1* se observa que inicialmente los tres incoloros presentan una viscosidad menor al límite inferior de 120".

También se ve que la viscosidad va aumentando casi de manera lineal de semana en semana, y que el incoloro E1 a los 24 días se sale del límite superior, el incoloro E2 a los 30 días y el E3 a los 36 días. Esto hace que si se utiliza el incoloro fuera de límites, los productos que se fabrican a través de este incoloro necesiten un mayor ajuste de disolventes y por tanto un mayor tiempo de ciclo en la fabricación.

Además, se sacaron porciones de los incoloros para ajustarlos al límite inferior de especificación, es decir a 120", para ello, los disolventes utilizados han sido el BDG y el ABDG, ambos utilizados en la misma proporción.



Gráfica 2. Representación de la cantidad de disolvente añadido con respecto al tiempo.

En esta gráfica se observa que la cantidad de cartuchos utilizados ha aumentado progresivamente a lo largo de las semanas, alcanzando casi un 7% a los 42 días. Se puede notar que los tres incoloros se salen de especificación cuando se añade más de un 3 % de la mezcla de disolventes. Esto sugiere que el incoloro no puede aceptar más de ese porcentaje para su ajuste, lo cual afectará a los esmaltes que lo contienen.

Otro estudio que se ha realizado es ajustar cada semana la totalidad de la muestra, no sacando porciones; esto se llevó a cabo con el incoloro E1. Por lo que la viscosidad, como se muestra en la siguiente tabla, es casi la misma (130"), siempre quedando dentro de los límites de especificación. Y añadiendo cada semana una cantidad de la mezcla de disolvente pequeña, del 1%.

Tabla 2. Viscosidades de la muestra ajustada en su totalidad.

Tiempo (días)	1	7	14	21	28	35
Viscosidad inicial (s)	117	128	132	133	133	132
Ajuste (%)	-	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
Viscosidad final (s)	117	120	121	122	120	121

La conclusión es que, si se ajusta el incoloro semanalmente, se puede utilizar sin exceder los límites de especificación en términos de viscosidad. Esto elimina la necesidad de ajustes posteriores en los productos acabados, favoreciendo así la rapidez en la fabricación de estas.

6.2.2. Extracto seco

Este parámetro se ha estudiado a través de una estufa a una temperatura de 105º y a través de una termobalanza analítica. Las gráficas se encuentran en el Anexo V.

Para obtener el extracto seco mediante la termobalanza, fue necesario desarrollar un programa específico para este tipo de compuesto, variando la temperatura en el proceso. Inicialmente, se comenzó con una temperatura de 105°C, similar a la utilizada en la estufa, pero se observó que el extracto seco resultante era muy alto, alcanzando el 65,15%. Posteriormente, se aumentó la temperatura a 120°C, logrando un porcentaje del 63,08%. Luego, al incrementar la temperatura a 135°C, el porcentaje obtenido fue considerablemente bajo en comparación con la estufa, alcanzando solo el 58,35%, lo que requirió un ajuste a 130°C. A esta temperatura, los valores obtenidos se aproximaron a los del método establecido con la estufa, mostrando un 61,47% en la estufa y un 61,64% en la termobalanza. El utilizar distintas temperaturas en ambos métodos se debe a sus distintas funciones. La estufa se utiliza para calentar muestras a temperaturas constantes, mientras que la termobalanza no solo calienta muestras, sino que también permite medir con alta precisión cambios de masa que ocurren durante el proceso.

El extracto seco es un parámetro con mayor variabilidad que la viscosidad. En el caso del incoloro E1 sin ajustar, el extracto seco aumenta con el tiempo a causa de su mayor viscosidad, lo que resulta en la pérdida de disolvente a lo largo de las semanas. Esto podría deberse a que el bote en el que se almacena el compuesto no es completamente hermético, lo cual representa un problema para su uso posterior.

En el caso de los incoloros que se han ido ajustado cada semana, al añadir más disolvente el extracto seco va disminuyendo, esto es debido a que el incoloro está formado por más disolvente y por tanto se evapora. Esta tendencia se observa mejor a través de la termobalanza analítica.

En la termobalanza analítica, se observa claramente que al añadir una mayor cantidad de disolventes, el extracto seco disminuye progresivamente. Después de un mes y medio, este parámetro excede los límites establecidos.

Existe una diferencia entre estos dos métodos. En el método de la estufa, se pesan 2 gramos del incoloro y se dejan durante 3 horas. En cambio, en el método de la termobalanza, se pesa 1 gramo del compuesto y la duración de cada medición es de 26 minutos, lo que favorece la rapidez.

6.3. ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DEL ESMALTE

En el laboratorio para validar la propuesta de modificación, se han fabricado 4 esmaltes: el esmalte 1 utilizando el incoloro E1, el esmalte 2 con el incoloro E2, el esmalte 3 con el incoloro E3, y el esmalte 4 con el último lote fabricado en la nave. Además, se han comparado con el último lote fabricado en planta del esmalte, esmalte 5.

Las especificaciones del cliente para esta pintura son las siguientes:

- Viscosidad: 45"-55" en Copa Din4 a 23°C
- Viscosidad de dilución: 26"-28" en Copa Din4 a 23°C
- Extracto seco: 1 gramo, 120°C, 60 minutos.
 - o Concentrado (cdo): 54% - 58%
 - o Diluido (ddo): 49% - 53%
- Resistividad: 800-1100 KOhm en diluido.

6.3.1. Ensayos sobre muestra líquida.

Inicialmente se han evaluado los parámetros mencionados y los resultados obtenidos son los siguientes: Todos los esmaltes han sido ajustados con un disolvente para cumplir con las especificaciones de viscosidad.

Tabla 3. Parámetros de viscosidad de los esmaltes y su ajuste correspondiente.

Esmalte	Viscosidad inicio (s)	Ajuste (%)	Viscosidad final (s)	Dilución (%)	Viscosidad aplicación (s)
1	74	4	55	10	27
2	65	3	54	9	28
3	58	2	51	9	27
4	59	2	50	9	26
5	75	4	55	10	27

Se nota que la viscosidad inicial es mayor en el esmalte 1, ya que el incoloro utilizado tiene una viscosidad más alta, lo que requiere una mayor cantidad de disolvente añadido en comparación con los otros.

En lo que respecta a los otros dos parámetros, resistividad, resistencia que ofrece un material al flujo de corriente eléctrica, y extracto seco (Tabla 4), se observa que en el esmalte 3 la resistividad es inferior a la especificada por el cliente. Esta disminución se debe al uso de un incoloro que contiene un 1,5% de butanol, un disolvente polar con una cadena hidrocarbonada muy pequeña, lo cual reduce significativamente la resistividad. Los disolventes polares reducen la resistividad porque presentan moléculas con una distribución asimétrica de cargas eléctricas, permitiendo una interacción más efectiva con las moléculas del entorno. Esta interacción facilita el movimiento de portadores de carga e iones, incrementando la conductividad eléctrica y, por lo tanto, disminuyendo la resistividad, ya que ambas magnitudes son inversamente proporcionales.²⁹ La pintura se aplica en línea mediante electrodeposición. Dependiendo de su conductividad, las partículas proyectadas experimentarán diferentes efectos debido al campo eléctrico generado, por lo que es un parámetro crítico de las pinturas.

Además, se observa que tanto el extracto seco en concentrado como el diluido en los cinco esmaltes son muy similares, siendo los más bajos en el esmalte 3, cuya viscosidad final es menor.

Tabla 4. Parámetros de resistividad y extracto seco de los esmaltes.

Esmalte	Resistividad (KOhm)	E.S cdo (%)	E.S ddo (%)
1	980,0	57,02	52,62
2	890,0	56,65	51,60
3	780,0	56,36	50,50
4	860,0	58,00	52,80
5	840,0	58,00	52,94

Por tanto, se observa que cuanto mayor sea la viscosidad inicial del incoloro, mayor cantidad de disolventes se requiere para ajustar los parámetros líquidos del esmalte dentro de las especificaciones. Esto conlleva un aumento significativo en el uso de disolventes y una pérdida de tiempo durante la realización de las adiciones.

6.3.2. Ensayos sobre muestra sólida.

Los parámetros mecánicos que se han estudiado han sido los descuelgues y los hervidos. Para poder pintar estas placas (Anexo III) se ha mirado la viscosidad, la especificación es que la viscosidad sea 55" en la copa ISO4 a 23°C. Para ello, se ha añadido un 15% de disolvente en cada uno de los esmaltes. Las placas de descuelgues de los 5 esmaltes se encuentran en el Anexo.

Tabla 5. Parámetros mecánicos de los esmaltes.

Esmalte	Descuelgues (μm)	Hervidos (μm)
1	41	47
2	43	46
3	44	52
4	42	50
5	47	48

En la tabla anterior, se observa que los descuelgues y los hervidos al añadir mayor cantidad de butanol (esmalte 3) son comparables o ligeramente mejores en algunas micras respecto a los esmaltes 1 y 2. Esto indica una mejora en la aplicación final del producto.

El butanol no empeora los descuelgues y hervidos debido a su compatibilidad química con los otros componentes de la pintura, lo que evita reacciones adversas que pueden causar estos defectos. Además, gracias a sus propiedades de disolvente, mantiene la viscosidad adecuada de la pintura. También reduce la tensión superficial, disminuyendo la posibilidad de descuelgues, y su control de la evaporación contribuye a un secado uniforme de la pintura.³⁰

7. CONCLUSIONES

Como conclusión al modificar el disolvente orgánico de la fórmula, se logra una mayor estabilidad del incoloro, manteniendo el parámetro viscosidad dentro de los límites de especificación 6 días más con 0,7% de butanol y 12 días más con 1,5% de butanol. Esto permite la utilización de este incoloro para la fabricación de esmaltes un periodo de tiempo mayor sin realizar un gran ajuste de disolventes en ellos y reduciendo así el número de controles. En el caso del parámetro del extracto seco, se observa que al cabo de 35 días los tres incoloros se encuentran fuera del límite inferior, complicando su utilización para la fabricación de los esmaltes.

Del mismo modo, se observa que ajustando cada semana el incoloro mantenemos los parámetros de viscosidad y extracto seco dentro de los límites específicos, repercutiendo en una mayor estabilidad para su uso y aplicación en los esmaltes.

En el producto acabado, se observa que los parámetros líquidos se encuentran dentro de las especificaciones, aun utilizando incoloros que ya no están dentro de los límites. Destacando que la cantidad de disolventes añadidos para su ajuste es mucho mayor, lo que produce que haya un mayor gasto de disolventes. En cuanto a los parámetros físicos de descuelgues y hervidos, al añadir mayor porcentaje de butanol, no empeoran con respecto a los esmaltes fabricados con el incoloro de fórmula.

Como conclusión final de este Trabajo Fin de Máster, se logra una mayor estabilidad del incoloro, manteniéndolo dentro de las especificaciones durante un período de tiempo superior al de la fórmula actual. Esto abre la posibilidad de reducir el número de controles en el futuro y, por ende, el tiempo de ciclo, sin afectar a la aplicabilidad del producto acabado.

8. ANEXOS

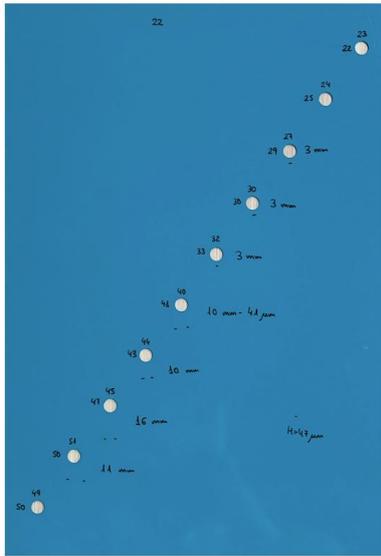
ANEXO I. INCOLORO Y ESMALTE FABRICADO



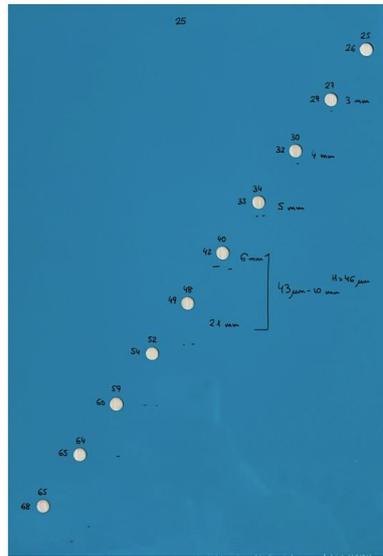
ANEXO II. ROBOT PARA PINTAR PLACA DE DESCUELGUES: SPRAYMATION.



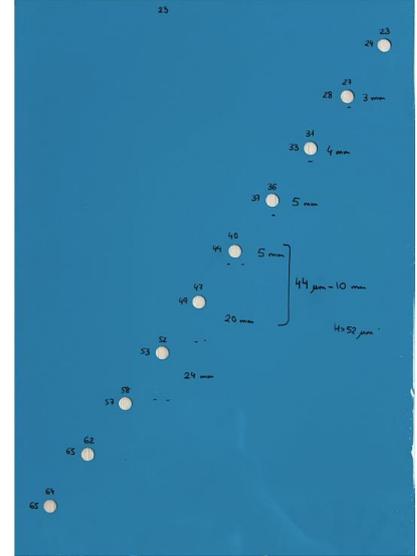
ANEXO III: PLACAS DE DESCUELGUES DE LOS ESMALTES.



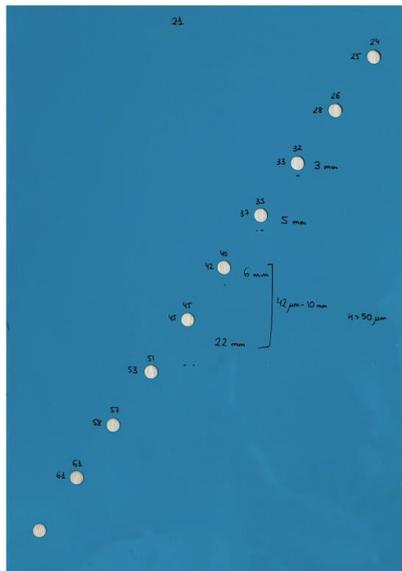
Esmalte 1



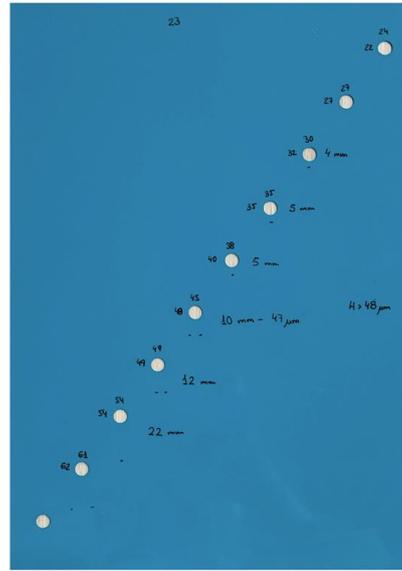
Esmalte 2



Esmalte 3

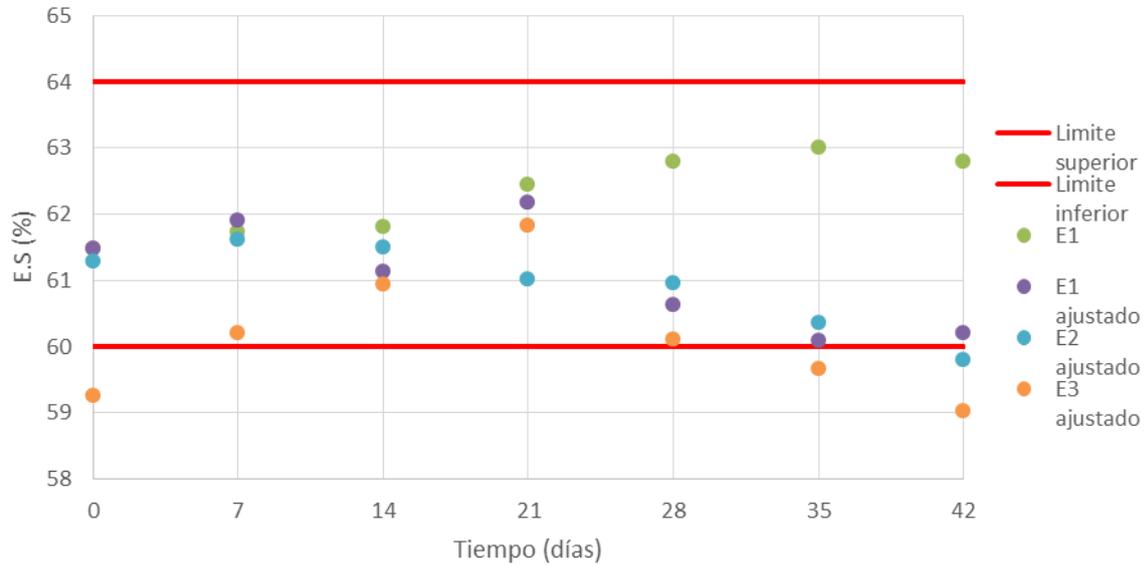


Esmalte 4

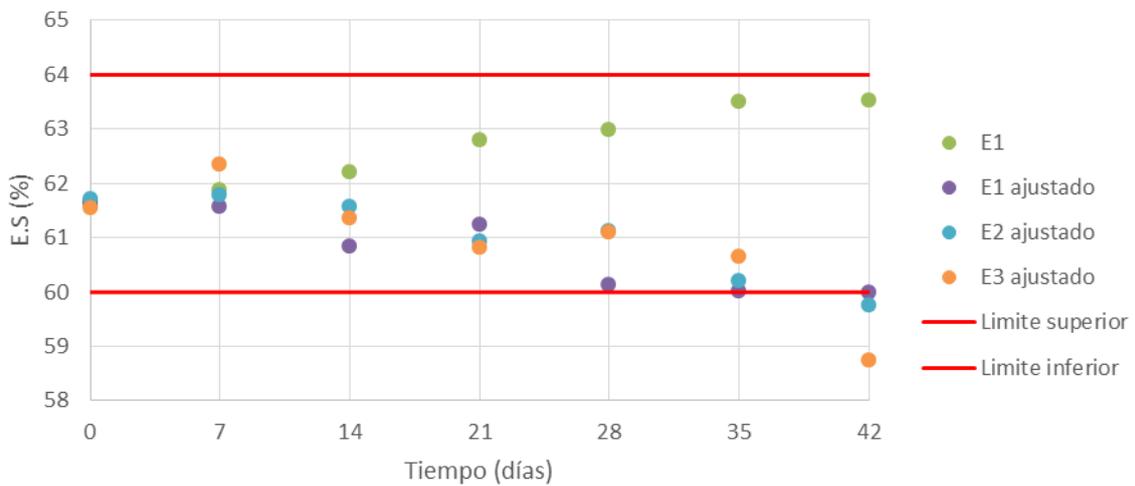


Esmalte 5

ANEXO V: GRÁFICA DEL EXTRACCTO SECO EN ESTUFA Y TERMOBALANZA.



Gráfica 3. Representación del extracto seco con respecto al tiempo en estufa.



Gráfica 4. Representación del extracto seco con respecto al tiempo en termobalanza.

9. BIBLIOGRAFÍA

¹ S, J. (2009). *La fábrica, satélite de la automoción, abrió en 1967*. El Norte de Castilla. <https://www.elnortedecastilla.es/20090414/valladolid/fabrica-satelite-automocion-abrio-20090414.html># consultado el día 12 de junio de 2024.

² Banov, A. (1980) *Paints and Coatings*. Handbook. Londres: Structures

³ E.T.S.I. Industriales (UPM). (s. f.). *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización* | Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/39501/>

⁴ Benjamin Moore. (s. f.). *Cómo se fabrica la pintura*. [https://www.benjaminmoore.com/es-us/interior-exterior-paints-stains/how-to-advice/painting-101/how-is-paint-made#:~:text=Los%20cuatro%20componentes%20de%20la%20pintura%20son%20los%20pigmentos%2C%20las,\(l%C3%ADquidos\)%20y%20los%20aditivos](https://www.benjaminmoore.com/es-us/interior-exterior-paints-stains/how-to-advice/painting-101/how-is-paint-made#:~:text=Los%20cuatro%20componentes%20de%20la%20pintura%20son%20los%20pigmentos%2C%20las,(l%C3%ADquidos)%20y%20los%20aditivos) consultado el día 27 de mayo de 2024.

⁵ Giudice, C., y Pereyra, A. (2009). *Tecnología de pinturas y recubrimientos: Componentes, formulación, manufactura y control de calidad*.

⁶ Perrin, F. X., et al. (2011). *Influence of pigment concentration and particle size on the properties of automotive clearcoats*. *Progress in Organic Coatings*, 70(4), 180-187.

⁷ Carbonell, J. C. (2011). *Pinturas y recubrimientos.: Introducción a su tecnología*. Ediciones Díaz de Santos.

⁸ Pochteca Guatemala. (2023). *Tipos de resinas y sus aplicaciones*. Venta de materias primas para la Industria. <https://guatemala.pochteca.net/tipos-de-resinas-y-sus-aplicaciones/>

⁹ Cubero, J. R. (2023). *Qué son y para qué sirven las resinas de poliéster*. Rai Pintores. <https://www.raipintores.com/blog/resinas-poliester/#:~:text=Las%20resinas%20de%20poli%C3%A9ster%20tienen,significa%20que%20son%20muy%20maleables> consultado el día 18 de junio de 2024.

¹⁰ *Usos y aplicaciones de la resina de poliéster*. (s. f.). https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html#que%20es%20la%20resina%20de%20poliester

-
- ¹¹ Chemifloor. (2021). *Características de las resinas epoxi*. Chemifloor. <https://chemifloor.net/caracteristicas-de-las-resinas-epoxi-a144/>
- ¹² Polímeros, T. E. (2017). *Resina de melamina*. WordPress.com. <https://todoenpolimeros.com/2018/03/05/resina-de-melamina/>
- ¹³ Alonso, J. V. (2017). *PINTURAS, BARNICES y AFINES: composición, formulación y caracterización*. Universidad Politécnica de Madrid.
- ¹⁴ ¿Qué disolventes se usan para pintura automotriz? (s. f.). https://www.axalta.com/blog_mx/es_ES/repintado-automotriz/proceso-repintado/que-disolvente-se-usa-para-pintura-automotriz.html consultado el día 18 de junio de 2024.
- ¹⁵ Woodbridge, R. (1991). *Principles of Paint formulation*. Londres: Blackie and Son.
- ¹⁶ Saji, V. S. (2013). *Advances in Corrosion-Resistant Thermal Spray Coatings for Industrial Applications*. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology.
- ¹⁷ Malvern Panalytical. (s. f.). *Medición de la viscosidad y principios de la viscosidad*. <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/measurement-type/viscosity>
- ¹⁸ Bane, S. P., y Yakhmi, J. V. (2010). *Viscosity Measurements in Coating Industry*. *Journal of Coatings Technology and Research*, 7(2), 189-200.
- ¹⁹ Navas, J. S. (2006). *Fundamentos de reología de alimentos*.
- ²⁰ Alfonso. (2022). *Control de calidad en la pintura líquida*. BLOG DALMAR PROTECCIONES y PINTURAS. <https://blog.proteccionesy pinturas.com/control-de-calidad-en-la-pintura-liquida/#Viscosidad> consultado el día 10 de junio de 2024
- ²¹ Bradley, R. L. (2010). *Moisture and Total Solids Analysis*. In S. S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis* (pp. 85-104). Springer.
- ²² Mujumdar, A. S. (2015). *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press.

²³ Flynn, J., y Wall, L. (1966). *General treatment of the thermogravimetry of polymers*. Journal of Research of the National Bureau of Standards Section A: Physics and Chemistry, 70A(6), 487-523.

²⁴ González García, F. (2014). Proceso de pintura en la industria de la automoción.

²⁵ Cardero, S. (2021). *Por qué aparecen los hervidos en pintura y cómo solucionarlos*. Formación Práctica Para el Profesional de Chapa y Pintura.

²⁶ Instrumentación, P. I. S. (2024). *Copa de viscosidad DIN PCE-127/4 | PCE Instruments*. https://www.pce-instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/copa-de-viscosidad-pce-instruments-copa-de-viscosidad-din-pce-127-4-det_2219348.htm#:~:text=La%20copa%20de%20viscosidad%20DIN,determinar%20la%20viscosidad%20de%20I%C3%ADquidos consultado el día 6 de junio de 2024.

²⁷ *Alcohol butilico | Química industrial*. (2024). Química Industrial. <https://quimicaindustrial.cl/producto/alcohol-butilico/>

²⁸ Valverde, M. (2023). *¿Qué es la viscosidad de un fluido y cómo se mide?* ZS España.

²⁹ Atkins, P. W., & de Paula, J. (2014). *Physical Chemistry* (10th ed.). Oxford University Press.

³⁰ Smith, P., y Hashemi, J. (Eds.). (2016). *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering* (2nd ed.). Elsevier.