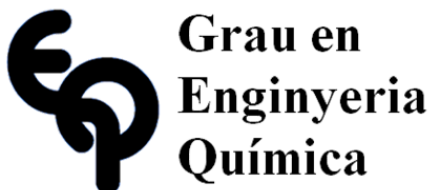


Dr. Jose María Gutiérrez González

Dra. Carmen González Azón  
*Departament d'Enginyeria Química*

Luís Martínez Barrio  
*AkzoNobel Car Refinishes*



# Treball Final de Grau

**Study on Stability of Matte Clearcoats for Automotive Sector.**  
**Estudio de la Estabilidad de Barnices Mate para el Sector de la Automoción.**

Albert González Aguilar

*January 2014*



Dos campus d'excel·lència internacional

**B:KC** Barcelona  
Knowledge  
Campus

**HUB** Health Universitat  
de Barcelona  
Campus



Aquesta obra esta subjecta a la llicència de:  
Reconeixement–NoComercial–SenseObraDerivada



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>



*La ciencia es un ideal. La de hoy corrige la de ayer, y la de mañana la de hoy.*

Ortega y Gasset

*Mis más sinceros agradecimientos a:*

*Todo el equipo de AkzoNobel, quienes me han brindado la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y sin los cuales nada de esto habría sido posible. Todos ellos me han ayudado a crecer con su experiencia y sus charlas entre café y café.*

*Y a mi familia, que siempre me ha apoyado y ha tenido fe en mí incluso cuando yo mismo carecía de ella.*

*A todos, gracias.*



**REPORT**





# CONTENTS

<b>SUMMARY</b>	3
<b>RESUMEN</b>	5
<b>1. INTRODUCTION</b>	7
<b>1.1. WHAT IS A PAINT?</b>	7
<b>1.2. PAINT SYSTEMS FOR PLASTICS</b>	9
1.2.1. One-component systems	9
1.2.2. Two-component systems	9
<b>1.3. PAINT APPLICATION TECHNIQUES</b>	9
1.3.1. Conventional airbrush	9
1.3.2. Low pressure airbrush (HVLPP)	10
1.3.3. Electrostatic application (ESTA)	10
1.3.4. Pneumo-ESTA guns	10
1.3.4.1. <i>Disc application</i>	10
1.3.4.2. <i>High speed bell application (CAV-ESTA)</i>	11
<b>1.4. APPLICATION DEFECTS</b>	11
1.4.1. Sagging	11
1.4.2. Boiling	12
<b>1.5. PAINTING PROCESS FOR PLASTICS</b>	13
1.5.1. Pre-treatment of plastic surfaces for better adhesion	13
1.5.2. Paint coats for plastics	14
1.5.2.1. <i>Primer</i>	14
1.5.2.2. <i>Basecoat</i>	14
1.5.2.3. <i>Clearcoat</i>	14
<b>1.6. THE GLOSS</b>	15
1.6.1. Matte effect	15

---

<b>2. OBJECTIVE AND WORK PLANNING</b>	16
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	17
3.1. DISPERSOR COWLES	17
3.2. MOLINO VERTICAL	19
3.3. GRINDÓMETRO	20
3.4. COPA DE VISCOSIDAD	21
3.5. FLAMEADOR	21
3.6. AERÓGRAFO	23
3.7. MEDIDOR DE ESPESORES	23
3.8. REFLECTÓMETRO	24
<b>4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b>	25
4.1. PREPARACIÓN DEL PRODUCTO	25
4.2. ESTUDIO DEL BRILLO	27
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	28
5.1. VARIACIÓN DEL BRILLO CON EL ESPESOR	28
5.2. ESTABILIDAD DEL BRILLO	32
5.3. REPRODUCIBILIDAD DE RESULTADOS	34
<b>6. CONCLUSIONS</b>	37
<b>REFERENCIAS Y NOTAS</b>	39
<b>APÉNDICES</b>	
<b>APÉNDICE 1: TABLAS DE RESULTADOS</b>	43

## SUMMARY

Throughout the history of the automotive sector, aesthetic functions have been added to protective functions. One of the causes of that fact is that lots of brands have become this aspect into their hallmark; a clear example is the red of Ferrari or the green of Jaguar. Thus, due to the fact that exists a continuous competence between companies to be the industry leader, paints suffer a fast and continuous evolution process to provide better protection and larger range of colours and effects.

That is the reason why AkzoNobel, leading global company headquartered in Amsterdam, has decided to carry out a project to study the gloss stability of matte clearcoats due to their increasing demand. This is a hard task even for the most experienced technicians. That is because these clearcoats are characterized by having a hard gloss adjust due to their non-linear performance on the addition of matting agents.

By this study, it is expected to achieve a better comprehension of how the gloss is affected by the coat thickness and by the time. In addition, it is also studied if these clearcoats show good painting reproducibility related to the liquid product stability.

For this study, the performance of four currently used clearcoats will be observed and compared in order to determine which of them is the best. With that aim, the clearcoats are prepared using two formulations (A and B) and two different dispersion processes (Cowles and sand mill) and several pieces are painted.

Through the obtained results, it is observed that the stability is improved by using the sand mill dispersion and that the most stable clearcoat is the one which uses the formulation B and the sand mill dispersion.



## RESUMEN

A lo largo de la historia de la automoción, a la función protectora de la pintura se le ha sumado la función estética. Una de las causas de este hecho es que gran variedad de marcas han convertido este aspecto en su seña de identidad, un claro ejemplo de esto son el rojo de Ferrari o el verde de Jaguar. Así pues, debido a que existe una continua competición entre empresas para llegar a ser la líder del sector, las pinturas sufren un rápido y continuo proceso de evolución para ofrecer una mejor protección y una mayor gama de colores y efectos.

Es por este motivo que AkzoNobel, compañía líder a nivel mundial con sede en Ámsterdam, ha decidido realizar un proyecto para el estudio de la estabilidad del brillo en los barnices mate debido a su creciente demanda. Ésta es una tarea complicada incluso para los técnicos más experimentados, pues estos barnices se caracterizan por tener un difícil ajuste de brillo debido a su comportamiento no-lineal respecto a adiciones de matizante.

Mediante este estudio se pretende obtener una mejor comprensión de cómo se ve afectado el brillo respecto al espesor de la capa aplicada y respecto al tiempo, así como si estos barnices presentan una buena reproducibilidad de pintado asociada a la estabilidad de éstos en estado líquido.

Para realizar este estudio se observará el comportamiento de cuatro barnices usados actualmente y se compararán con la finalidad de determinar cuál de ellos es el mejor. Para ello se preparan los barnices usando dos formulaciones (A y B) y dos procesos de dispersión distintos (Cowles y molino) y se pintan diversos paneles.

A partir de los resultados obtenidos se observa que la estabilidad mejora al dispersar por molino y que el barniz más estable es el que usa la fórmula B y se dispersa por molino.



# 1. INTRODUCTION

All objects are vulnerable on their surface. The surfaces of objects left outdoors suffer the attack of the sun, wind, rain, fog, dew, ice and snow. These and more sheltered objects, suffer everyday wear, which produces scratches, abrasions and dents on their surfaces. To prevent or reduce the damage, layers or coatings are applied to protect the surfaces. These coatings are also used to decorate, to add colour and lustre, to smooth and to make irregularities caused by the manufacturing process disappear. Therefore, the function of any coating is twofold: to protect and to decorate.

There are many coatings that meet these functions: plastic sheets, silver, chrome, etc. But there is no coating material more versatile than paint, which can be applied to any surface.

## 1.1. WHAT IS A PAINT?

Paint is a very general term used to describe a wide variety of materials: enamels, lacquers, varnishes, primers, surfacers, fillers, stoppers, etc. It is important to know that all these products are made using the same basic principles, and they contain all or any of the three main ingredients:

The first one is the pigment. Pigments have both decorative and protective properties. The simplest form of paint is the lime slurry which, when dried, is a whitening pigment (calcium carbonate) spread over a surface. It decorates and protects but it wears out and, eventually, disappears. That is why most paints contain the second ingredient: the film-former, which is a binder or a polymer. It holds together the pigment particles and it makes them remain on the surface. The fluidity of the paint allows it to penetrate even the most intricate cracks. This fluidity is accomplished by dissolving the film-former in the appropriate solvent, or by getting colloidal suspensions of the pigment and the film-former in a solvent. That's why the third basic component of paint is a liquid. Often the mixture of the film-former with the liquid is known as *vehicle for the pigment*.

If the pigment is not included, it is said that we are making a varnish. Protective coatings added on metallic paints are called clearcoats because they incorporate no pigments. A

pigmented varnish is often known as enamel, lacquer or topcoat. It indicates that it is the last film that is applied, and that it is the one seen when the object is scanned. Lacquers are paints or varnishes composed by thermoplastic solutions, whereas enamels are thermosetting paints.

Figure 1 shows the components of paint. It also includes a list of minor ingredients used in paint. Next, we will define some of the terms used in this diagram:

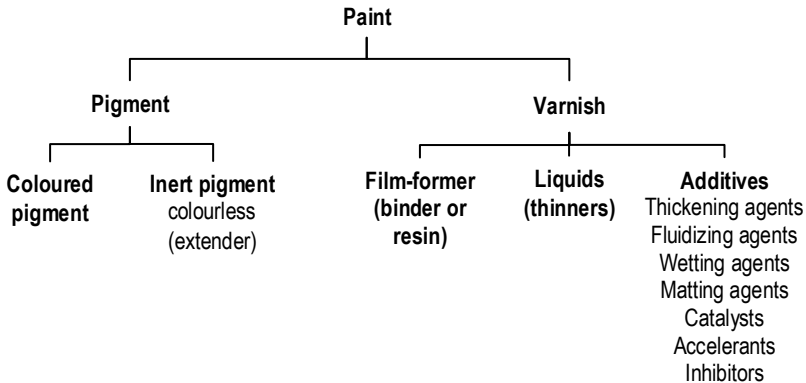


Figure 1. Components of the paint

- **Pigments:** They are any kind of fine solid particles that are not dissolved in the varnish. If they don't add colour, they are known as extenders. These extenders are much cheaper than those which add colour. They also add very useful properties: they improve the adhesion, they give strength to the film, they ease the cleaning, etc.

- **Film-former:** It is a polymer, often referred to as binder or resin, which forms a matrix to hold the pigment in place. The most important binders used in modern paints are acrylic, polyurethane, alkyd and epoxy polymers.

- **Liquid:** Either an organic solvent or water is used to reduce the viscosity of the paint for better application. Some liquids that are part of the paint are not added on the package or container with the paint, they are supplied separately as thinners.

- **Additives:** They are little amounts of substances that are added to the paint to give certain properties, such as improved surface appearance.



## 1.2. PAINT SYSTEMS FOR PLASTICS

### 1.2.1. One-component systems (1-K)

In this group there are two kind of paint: the ones which dry at more than 100 °C and the ones which dry at less than 100 °C.

The ones which dry at more than 100 °C, also known as oven drying, are paint with blocked reactive groups. It is necessary a minimum of temperature to start the polymerization reaction. This way, high resistance and quality finishings are obtained. They are used for the painting of thermosettings (UP-SMC) or thermoplastics such as Noryl GTX (PPO/PA). An example of this kind of paint is the Polyester-melamine or the Polyol-diisocyanate blocked.

The ones which dry at less than 100 °C, also known as forced drying, normally need temperatures between 50 and 80 °C. They can be binders that polymerize by condensation, oxidation or humidity reaction. This kind of paint has more limited resistance than the one aforementioned. It is ideal for painting indoor pieces. Some examples of this kind of paint are acrylic, vinylic or urethaned paint.

### 1.2.2. Two-component systems (2-K)

They are based on binders with reactive groups, generally hidroxylic, diisocyanate or epoxidic groups. One component is the paint and the other is the hardener. They polymerize by polyaddition when they are mixed and they form high molecular weight polymers. On plastic painting, polyurethanic (PUR) and epoxi-versamide (EPV) systems are usually used. They have to be dried at 80-90 °C. These systems provide high quality and resistance.

On the other hand, the lifetime of these systems is short and the mixture preparation must be *in situ*.

## 1.3. PAINT APPLICATION TECHNIQUES

### 1.3.1. Conventional airbrush

It is the most extended application system. It is based on the creation of a pulverization cloud that is projected over a surface by compressed air. Suction guns are used for this purpose. They mix air flow at 3-6 bar with thinned paint and project it through a little diameter mouthpiece. This way, paint atomization is achieved.

It uses the most economic equipment. And it is the easier to use too. It can be assembled in robots or automatic applicators.

### **1.3.2. Low pressure airbrush (HVLP)**

This system is an improvement of the one aforementioned. With this system, a better level of paint transference to the piece is achieved. This way, the generation of big pulverization clouds is avoided.

This improvement is achieved by modifying the pulverization heads. This way, the pulverization air volume is increased and the work pressure decreases to 0.5 – 0.7 bar.

The transference increases and that improves the paint efficiency due to the fact that approximately 200 cc/min flow is used to work.

The rejection by dirt is reduced. Up to 30% of paint is saved and, as a result, the COV emission is reduced till 20% or less.

### **1.3.3. Electrostatic application (ESTA)**

The electrostatic application uses the effect of electrostatic forces of a high voltage electric field (approx. 90 kV) to improve the dispersion and positioning of paint particles on the piece.

This system provides a high paint transference index application. It also provides a covering effect that allows standardising paint thickness in every point of the piece. These effects make that the speed and final efficiency of the process increase.

### **1.3.4. Pneumo-ESTA guns**

They combine the advantages of both application technologies: they have flexibility of use (manual, automatic or with robots), they pulverize by aerographic effect (with the advantages of HVLP), they have an optimized efficiency and transference in relation to other aerographic systems, they cover the piece by ESTA effect, they do not need big investments nor important modifications on paint formulation, and they reduce COV emissions.

However, in plastics, a conductor substrate (primer) is needed.

#### *1.3.4.1. Disc application*

Paint is loaded on a turbine and it is projected by the high speed rotation of a disc which has its perimeter perforated.

It has great efficiency on pieces which have regular geometry but it is not appropriate for processes with colour changes. It is used for painting tubular pieces.

#### 1.3.4.2. High speed bell application (CAV-ESTA)

In this case, the projection and atomization is produced by bells that spin at high speed (20000-50000 rpm). Paint, after passing through the load turbine, is projected through a crown of holes. A second crown generates an air cone that eases the orientation and projection of the cloud to the piece.

With this system, high paint efficiency, transference to the piece and work speed is achieved and COV emissions are minimised.

However, there are some disadvantages that need to be taken into account. Such as the fact that it needs a bigger investment, it needs to use robots, it needs the adaptation of paint formulation, it needs experienced staff, etc.

## 1.4. APPLICATION DEFECTS

There are lots of defects, but we will focus only on two of them: the sagging and the boiling.

### 1.4.1. SAGGING

Also known as overloading, curtains, gun spits, runs or drips, the sagging is a common defect produced during the paint application. It is the flowing or dripping of paint from an upper vertical surface to the lower part forming a tear-like or wavy appearance.

The potential causes of this defect are:

- Low viscosity or thinner excess
- Too much coat thickness applied at once
- Heavy thinners
- Low room temperature and high humidity
- Deficiencies on the application process such as low pressure, too much paint flow or excessive proximity of the surface



Figure 2. Sagging (Picture taken from ref.7)

### 1.4.2. BOILING

The boiling, also known as solvent boil, boil, popping or solvent pop, is a defect which produces blisters on the paint surface caused by trapped solvents in the topcoat or primer, a situation which is further aggravated by forced drying or uneven heating.

The potential causes of this defect are:

- Solvent or air trapped in the film that escapes during the drying
- Incorrect spray viscosity, spray pressure, flash off time, or improper drying
- Incorrect choice of hardeners and/or thinners (use of fast-dry thinner, especially when the material is sprayed too dry or at excessive pressure)
- Excessive film thickness
- Incorrect drying of primer
- Improper surface cleaning or preparation
- Baking started too soon after the application
- Baking temperature too high

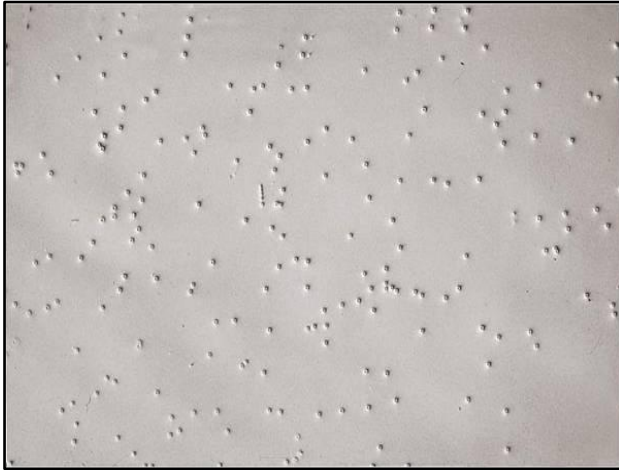


Figure 3. Boiling (Picture taken from ref.7)

## 1.5. PAINTING PROCESS FOR PLASTICS

### 1.5.1. Pre-treatment of plastic surfaces for better adhesion

Different plastics show different problems when they have to be painted but, in general, once the surface has been cleaned, they do not usually show adhesion problems for paint. As an exception to that rule, we have plastics of polyolefin, such as polyethylene and polypropylene. Due to the fact that these polymers do not have polar groups, they have low energy surfaces. These surfaces are hard to wet and thinners have problems to pierce them. In addition, the superficial layer of these plastics is often different to the rest of the plastic. It is weak and it has low molecular weight. When paint adheres to it, this surface peels and separates from the rest. That means poor adhesion.

It is necessary to modify the surface to get good results with these plastics. It can be done by reticulating the weak superficial layer with the rest of the plastic and oxidising it. This way, polar groups are created and the superficial energy is increased. For moulded articles, the *flame treatment* is used.

With the flame treatment, the oxidising part of the gas flame is put in contact with the plastic surface briefly (between 0.02-0.1 s). The temperature of the flame is high (between 1100-2800°C) and the flame itself is plasma. Plasma is a gas in which the molecules are broken into individual atoms, free radicals, ions, electrons and photons.

These particles, which are highly reactive, impact on the plastic surface oxidising it and breaking the C-H and C-C bounds. This process affects 4-9 nm depth. The subsequent recombination of the free radicals  $C\cdot$  can reticulate the weak superficial layer with the rest of the polymer. The new surface contains polar groups such as C=O, C-OH, COOH, C-O-NO and C-O-NO<sub>2</sub>. These changes mean an increase of the critical superficial tension of the plastic. This surface is easier to wet by paint. Adhesion is improved due to the fact that superficial layers are not weak anymore. It is also improved by the strong interactions between the polar groups of paint and plastic.

Although this technique is preferred, any effective oxidation system of the surface can be used, such as treatment with oxidising acids or halogens, or treatment with photoinitiators followed by UV irradiation.

## **1.5.2. Paint coats for plastics**

### *1.5.2.1. Primer*

First of all, primer, which is usually a two-component system, has to be applied on the surface (thickness between 8-30  $\mu\text{m}$ ) to improve the adhesion. It prevents the absorption of the following coats by porous surfaces.

### *1.5.2.2. Basecoat*

After the primer, the basecoat can be applied. It is a type of paint system, in general of one component, whose function is to bring the desired colour. It is easy to apply due to its fast physic drying and its high level of covering. But, due to its poorness of gloss and chemical and outdoor resistance, it always needs the following application of a clearcoat.

### *1.5.2.3. Clearcoat*

This transparent coat is the most superficial of a coating and its function is to protect the lower coats from mechanic damage or chemical products. As it is the upper coat, it is which provide the final appearance to the painted piece.

In the last years, new kinds of finishing have been developed. This is the case of the matte clearcoats.

## 1.6. THE GLOSS

A completely smooth coat is like the surface of Figure 4: light emanating from an object is reflected uniformly to the observer's eye. As the eyes get a complete picture of the object, the observer sees it clearly defined and it is said that the layer or surface is glossy and smooth.

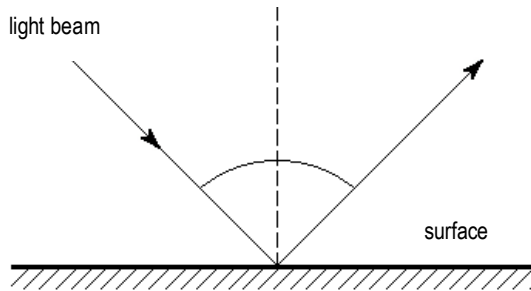


Figure 4 Reflection on a glossy surface

If the surface is not as smooth (Fig. 5), parts of the object are clearly seen by reflection, but other parts are lost because light is reflected to another site and not into the eye. The result is a blurred image, so that the observer considers that the surface is rough and not smooth nor glossy.

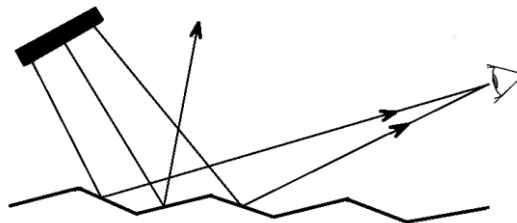


Figure 5 Reflection on a slightly glossy surface

### 1.6.1. Matte effect

With the aim of making a surface matte, that is, making it lose its brightness, we must make it more rugged.

To increase the roughness of pigmented finishes, the number of pigment particles present in the paint is increased, and therefore on its surface. These protruding particles break the smoothness of the surface.

On the other hand, on clearcoats, the brightness reduction is usually achieved by additives. To that end, a small percentage of fine particles of silica can be used, or we can disperse an insoluble wax in the finishing, which floats on the surface during the drying process.

Silica, which is a white charge, is transparent when it is wetted with the last coat of paint. Its high oil absorption capacity makes it possible to use only a small percentage, which is as effective as a much larger amount of coarse pigment. However, in many cases, the silica, like wax, tends to float on the surface. They form large aggregates that contain lots of particles. The air trapped in the spaces without wetting between the particles, reduces the density of the aggregate, and it allows them to ascend to the surface.

When using wax, only small amounts are needed. This method gives great softness to the finishing. Polyethylene and polypropylene waxes are very efficient and, as they have relatively high molecular weights, they do not spoil the heat resistance of the coat.

## **2. OBJECTIVE AND WORKING PLAN**

Due to the fact that matte clearcoats have shown poor gloss stability and reproducibility, that is, that the gloss of the pieces painted with the same clearcoat is not always the same, AkzoNobel Company has decided to study its stability for better understanding its performance. This is the objective of this work.

To do that, two different formulations will be used. Both of them are based on acrylic binders but they are dispersed in two different ways. In order to know what makes them more or less stable, the formulation or the dispersion process, each one will be dispersed by both methods: sand mill and Cowles disperser. In this way, four subjects of study will be obtained, as shown in figure 6.



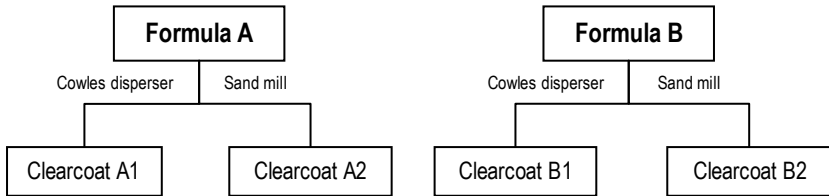


Figure 6. Process diagram

Three points will be studied:

- The gloss changes with the coat thickness
- The gloss stability of a painted piece with the time
- The gloss reproducibility on different applications

The first task is to prepare the four clearcoats and equalise their gloss level in order to make it easier to compare them. To do that, one of the formulations will have to be changed since the gloss level of the two formulations is different. The formulation that will be changed is the less glossy one.

Once the clearcoats are ready, four sheets will be painted, one for each clearcoat, using the same basecoat and creating a gradient of coat thickness with the clearcoat. Gloss will be measured at different coat thicknesses for a month.

Finally, to study the reproducibility of the results, this process will be repeated several times to see if the wet clearcoat is stable or not.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. DISPERSOR COWLES

El dispersor Cowles tiene como objetivo dispersar pigmentos o aditivos sólidos en la pintura. Para hacerlo, se usa una pala de dispersión *hi-shear* (Fig. 7).



Figura 7. Pala *hi-shear*

La alta velocidad de agitación crea una zona de intenso flujo turbulento. Una rápida abrasión hidráulica es obtenida en esa zona, usando energía de cizalla y de impacto. Esta zona turbulenta normalmente se encuentra comprendida entre 2.5- 5cm del diámetro de la pala, y el 75% de la energía cinética es aplicada en esta zona. Más allá de la zona turbulenta, el flujo se vuelve laminar. Este flujo se divide en la pared del tanque, asegurando una completa circulación en todo el proceso. La turbulencia no interrumpe el patrón de flujo, el flujo laminar es lo que causa el vórtice que se observa durante el proceso (Fig. 8).



Figura 8. Patrón de flujo en un tanque agitado con Cowles (imagen extraída de la ref.2)

La velocidad de agitación, el tamaño y la posición de la pala deben ser las adecuadas, ya que si no pueden darse distintos problemas:

Si la velocidad es demasiado baja, se necesitará más tiempo para realizar la dispersión y, además, puede sedimentar material. Por otro lado, si ésta es demasiado alta, entrará aire en el producto, se producirá un exceso de calor y se obtendrá una dispersión de baja calidad. Una buena velocidad de agitación se encuentra entre 4000-6000fpm ( $fpm = rpm \times 0.262 \times \text{diámetro de la pala (in)}$ ).

Si la pala es demasiado pequeña para el tanque, no se conseguirá un buen movimiento del producto y sedimentarán algunos sólidos, además de necesitar más tiempo para realizar la dispersión. Por el contrario, si es demasiado grande, tampoco se conseguirá un buen movimiento del producto y además de incorporar aire en la mezcla. Un buen tamaño es  $1/3$  del diámetro del tanque.

Si la posición de la pala es demasiado baja, disminuye el flujo producido y se generan volúmenes muertos. Pero si ésta es demasiado alta, disminuye el flujo en el fondo del tanque y pueden sedimentar sólidos que no se dispersarán. Además, esto incorpora aire a la mezcla. Una buena posición se encuentra a 1 ó 1.5 diámetros de la pala del fondo del tanque.

### 3.2. MOLINO VERTICAL

El molino vertical (Fig. 9) tiene como objetivo dispersar pigmentos o aditivos sólidos en la pintura. La cámara cilíndrica del molino se carga con el material de molienda (en nuestro caso, bolas de silicato de zirconio). La cámara también contiene dos agitadores de disco paralelos que giran a gran velocidad. Mientras el agitador gira, la energía es transferida al lecho. El movimiento de los discos y el material de molienda produce impactos y fuerzas de cizalla que, eficiente y uniformemente, rompen las aglomeraciones de partículas hasta cualquier tamaño especificado.

La acción de molienda de la fuerza de cizalla es relativamente suave y no afecta al resto de propiedades físicas del producto. Para prevenir que el producto se caliente demasiado durante la molienda, la cámara está envuelta por una camisa que absorbe el calor.

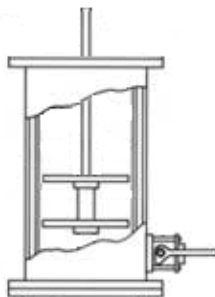


Figura 9. Molino vertical (imagen extraída de la ref.3)

### 3.3. GRINDÓMETRO

El grindómetro sirve para medir la finura o tamaño de partícula de una pintura según el estándar EN ISO 1524:2000. Éste consta de una regleta con dos rebajes cuya profundidad disminuye de un extremo a otro.

Para llevar a cabo una medición, se coloca la muestra sobre el extremo más profundo del rebaje y, manteniendo la rasqueta perpendicular a la superficie, se desplaza a velocidad constante sobre la superficie de la regleta hasta sobrepasar el punto de profundidad cero del rebaje, tal como se muestra en la figura 10. El tiempo para hacer esta recorrido debe estar entre 1 y 2 segundos.

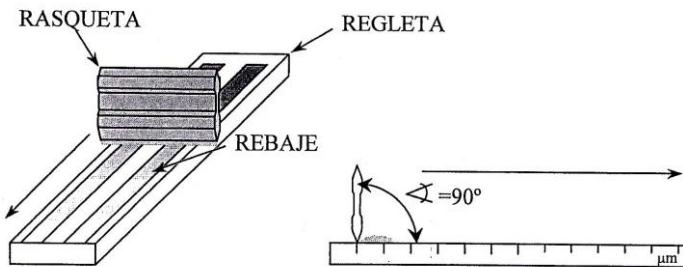


Figura 10. Partes y funcionamiento del grindómetro (imagen extraída de la ref.10)

Tan rápidamente como sea posible, se observa la regleta lateralmente de manera que forme un ángulo comprendido entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$  respecto a la superficie de la regleta y en condiciones de iluminación que permitan apreciar fácilmente el aspecto de la muestra contenida en el rebaje, tal como se muestra en la figura 11.

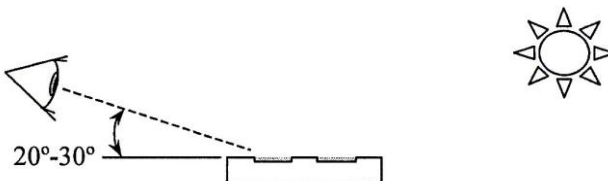


Figura 11. Observación de la lectura del grindómetro (imagen extraída de la ref.10)

Se observa el punto donde se inicia la aparición de un aspecto predominantemente granuloso y, más exactamente, donde, en una banda de 3mm a través del rebaje, se puedan observar entre cinco y diez partículas (Fig. 12). Este resultado tiene una precisión de  $\pm 5\mu\text{m}$ .

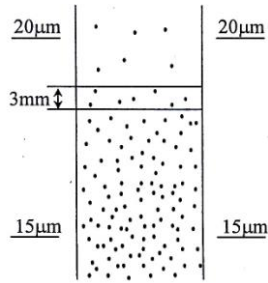


Figura 12. Representación aumentada de una lectura de 18  $\mu\text{m}$  sobre la regla  
(imagen extraída de la ref. 10)

### 3.4. COPA DE VISCOSIDAD

Las copas de viscosidad (Fig. 13) son instrumentos que se utilizan para medir la viscosidad cinemática de pinturas y productos similares. Están fabricados con aluminio anodizado y tienen un orificio de acero inoxidable. Según las especificaciones, se distingue entre copas AFNOR, BS, DIN, ISO, y FORD. Además, hay más subcategorías dependiendo del diámetro del orificio.

Para medir la viscosidad, primero se atempera el producto con un baño de agua hasta la temperatura especificada en la hoja técnica, a continuación se llena la copa tapando el orificio hasta enrasar, se destapa el orificio y se mide el tiempo que tarda en vaciarse. La viscosidad cinemática medida se expresa generalmente en segundos de tiempo de flujo pero también puede expresarse en centistokes (cSt).



Figura 13. Copas de viscosidad

### 3.5. FLAMEADOR

El flameador (Fig. 14) es una máquina diseñada para poder aplicar el tratamiento por llama a los paneles de plástico para prepararlos para su posterior pintado.



Figura 14. Flameador

Este tratamiento aumenta la capacidad de mojado, mejorando así la adherencia respecto a la pintura. La capacidad de mojado se puede medir a través de la energía superficial, que lleva unidades de  $\text{mN/m}$  o  $\text{mJ/m}^2$ . Cuanto más alta sea la energía superficial, mejor es la capacidad de mojado.

Para lograr que la superficie sea oxidada correctamente, es importante regular la proporción de la mezcla gas-aire de tal manera que, al quemarse, haya un exceso de oxígeno de un 10 a un 15%.

Para este proceso puede utilizarse gas natural, propano o butano. En nuestro caso se usa propano, cuya relación de mezcla estándar aire-gas es de 25:1.

La potencia del quemador, así como la velocidad de trabajo, son importantes para obtener un tratamiento adecuado. Como se ve en la figura 15, hay que encontrar la velocidad y potencia óptimas donde la energía superficial es máxima. Otro factor importante es la distancia de la llama respecto a la superficie. El tratamiento debe realizarse en la parte oxidante de la llama. El último factor a mencionar es el quemador. Éste debe ser dimensionado según la forma de la superficie a tratar. Varias boquillas formando una o más filas garantizan una llama uniforme y bien distribuida a lo largo del quemador. La cantidad, el tamaño y el diámetro de las boquillas, le dan a la llama su forma característica.



Figura 15. Comportamiento de la energía superficial (imagen extraída de la ref.9)

### 3.6. AERÓGRAFO

El dispositivo usado para la aplicación de la pintura es un aerógrafo convencional. Éste está conectado a un robot que permite seleccionar distintos programas de pintado dependiendo del espesor de capa deseado.

Tal como puede observarse en la figura 16, la boquilla del aerógrafo consta de diversos orificios. Por el orificio central sale la mezcla de pintura y aire, mientras que por el resto sale aire que tiene como objetivo estabilizar el abanico generado.



Figura 16. Aerógrafo convencional

### 3.7. MEDIDOR DE ESPESORES

El medidor de espesores está diseñado para realizar medidas de espesor rápidas, precisas y no agresivas. Trabaja tanto con el principio de inducción magnética como con el principio de corriente inducida, dependiendo del tipo de sonda usada. Para medidas en acero, usa el

principio de inducción magnética mientras que, para medidas en sustratos no férricos, usa el principio de corriente inducida.

Para realizar las mediciones es necesario tarar la máquina, por ello es necesario dejar un trozo del panel que se va a medir sin pintar. Es por esta razón que se coloca una tira de cinta que cubre un lateral del panel.

También es necesario calibrar el medidor. Para ello se usan unas galgas que se colocan encima de la zona tarada, se toma una lectura y ésta se modifica hasta que marque el espesor indicado en la galga. De este modo, el dispositivo queda listo para realizar cualquier medición en ese sustrato.

La precisión de las lecturas es de  $\pm 1\mu\text{m}$  (o  $\pm 2\%$ ). Siendo la reproducibilidad de un 10% (Según ISO2808).

### 3.8. REFLECTÓMETRO

El reflectómetro es una unidad portátil de medida que sirve para determinar el brillo de las capas de pintura, plásticos, cerámicas y materiales similares.

La luz es dirigida sobre la superficie del objeto de estudio a un ángulo definido y la luz reflectada es medida fotoeléctricamente. La medida viene dada en % de luz reflectada o unidades de brillo (UA).

Dependiendo del brillo del objeto de estudio, se usan reflectómetros con haces de luz dirigidos sobre la superficie en diferentes ángulos (Fig. 17). En términos técnicos, esto se llama "geometría" de la unidad.

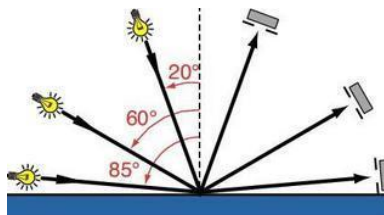


Figura 17. Funcionamiento del reflectómetro (imagen extraída de la ref.7)

Para poder medir correctamente los diferentes niveles de brillo o de satinado, se han establecido y estandarizado 3 geometrías (3 rangos de medida):



Brillo	Valor a 60°	Será medido a
Alto brillo	> 70	Geometría 20°
Semibrillante/ satinado	10 – 70	Geometría 60°
Mate	< 10	Geometría 85°

Tabla 1. Rangos de medida del reflectómetro

## 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 4.1. PREPARACIÓN DEL PRODUCTO

Para llevar a cabo este estudio, primero se preparan los barnices (*clearcoats*) tal como se indica en la figura 18. En ella aparecen resaltados los métodos de dispersión especificados en sus respectivas formulaciones.

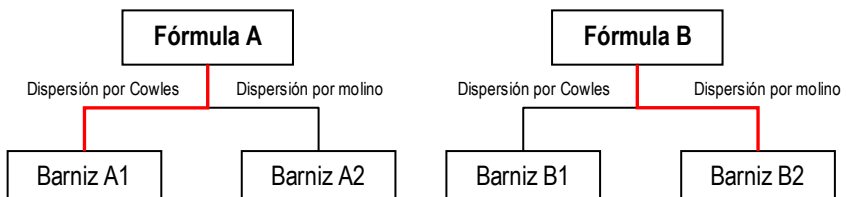


Figura 18. Esquema del proceso

Como la formulación del barniz B tiene especificado un brillo más bajo que la del barniz A (20 UB menor), se reduce la cantidad de matizante que contiene para obtener un mismo brillo para ambos barnices. No obstante, como igualar los brillos es difícil, se aceptarán brillos en un intervalo de  $25 \pm 5$  UB.

Los barnices se dispersan hasta una finura de  $25 \mu\text{m}$ . Para ello es necesario ir controlando la finura con el grindómetro hasta llegar a la finura requerida.

Una vez completados los barnices, se mide la viscosidad con las copas y se ajusta a la “viscosidad de producción” añadiendo disolventes hasta obtener la viscosidad especificada en la hoja técnica. Hay que tener en cuenta que todo el proceso es abierto a la atmósfera, con lo cual es de esperar que la viscosidad sea más alta de lo normal y haya que añadir más

disolvente del que aparece en fórmula. Para ello se usa una mezcla de los disolventes más volátiles que contiene en la proporción correspondiente.

Una vez ajustada la viscosidad, se procede a ajustar el brillo. Para ello, en primer lugar, se pinta una pieza de polipropileno por barniz y se mide el brillo con el reflectómetro.

Antes de pintar es necesario desengrasar los paneles con isopropanol y flamearlos. Para garantizar una buena adherencia en piezas de polipropileno, se recomienda alcanzar una energía superficial de entre 48-50 mJ/m<sup>2</sup>. Es importante tener en cuenta que no se debe dejar pasar más de una hora entre el flameado y el pintado pues pasado ese tiempo, la energía superficial empieza a disminuir.

Antes de aplicar cualquier pintura, es necesario diluirla y ajustarla a su "viscosidad de aplicación" puesto que ésta y la de producción no son iguales.

Primero se aplica una capa de imprimación (*primer*) y se deja secar. Para ello se realiza un *flash-off* de 10 min a 20°C y se estufan durante 30 min a 80°C.

Una vez seca la imprimación, se aplica la base o fondo bicapa (*basecoat*), es importante que éste sea siempre el mismo, ya que afecta al brillo final de la pieza. Seguidamente se hace un *flash-off* de 10 min a 20°C y se aplica el barniz. Como los barnices usados son sistemas de 2 componentes, hay que añadir el endurecedor (isocianato) justo antes de pintar puesto que la reacción entre los grupos -OH de las resinas y el isocianato hacen que la viscosidad aumente rápidamente. Acabado el pintado, se hace un *flash-off* de 10 min a 20°C y se estufan durante 30 min a 80°C.

Es muy importante comprobar que los espesores de las capas aplicadas sean los correctos pues éstos, además de afectar a la adherencia, también pueden afectar al brillo. Para ello se coloca un pequeño panel metálico con *coil coating* al lado de la pieza a pintar antes de la aplicación de la capa. Éste panel tiene un lateral tapado con cinta de tal modo que después ésta puede retirarse y poder tarar así el medidor de espesores para obtener la lectura del espesor de la capa aplicada, tal como se muestra en la figura 19.

El *coil coating* es un proceso que sirve para recubrir una o ambas caras de una lámina de acero o aluminio. Los materiales más utilizados para el recubrimiento son la pintura o el film plástico. Este recubrimiento proporciona buena adherencia a cualquier capa aplicada encima.



Figura 19. Proceso de medición de espesor de la capa aplicada

Cuando las piezas están secas y se mide el brillo, se obtiene que, tanto el barniz A1 como el A2, tienen el brillo especificado en la hoja técnica. Por otro lado, como la fórmula B ha sido modificada, el brillo obtenido para los barnices B1 y B2 es más alto.

Así pues, se le añade más matizante ( $\text{SiO}_2$ ) a los barnices B1 y B2 para ajustar el brillo. No obstante, debido a problemas de disponibilidad del molino, sólo se puede dispersar una parte del barniz B2, así que, como no se dispone de suficiente barniz para estudiar la reproducibilidad de los pintados, se decide realizar este estudio con el barniz no ajustado (unas 20 UB más alto que el resto).

## 4.2. ESTUDIO DEL BRILLO

Una vez ajustados los brillos, se procede a empezar el pintado para el estudio de la estabilidad de los barnices. Para ello se ha decidido que el mejor modo de hacerlo es pintando paneles de 45x25 cm mediante una aplicación con degradado de espesor en la capa de barniz. Debido a que este tipo de paneles son de acero con *coil coating*, no es necesario ningún tratamiento de superficie ni la aplicación de una imprimación, pues la adherencia de la base en el sustrato ya es buena. En este caso, para medir los espesores, se colocan dos tiras de cinta, una que se retira al final de la aplicación y que sirve para tarar el cero del medidor de espesores, y otra que se retira después de la aplicación del basecoat para poder medir el espesor de la capa de barniz aplicada.

Una vez secas las piezas, se miden los espesores de barniz y se toman lecturas de brillo cada  $5\mu\text{m}$  de espesor en un intervalo entre 25- $50\mu\text{m}$  para observar la variación del brillo con el espesor. Estas mismas lecturas se repiten durante los días siguientes para estudiar la estabilidad del brillo.

Por otro lado, este proceso se repite varias veces en días distintos para ver si el barniz líquido es estable.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. VARIACIÓN DEL BRILLO CON EL ESPESOR

La primera tanda de pintado, permite obtener los siguientes resultados:

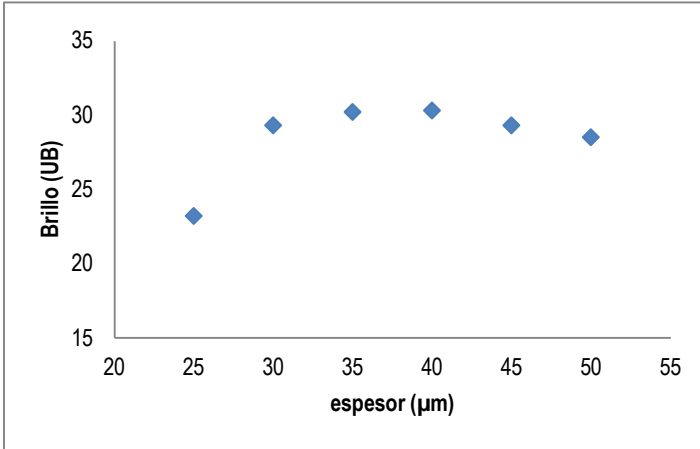


Gráfico 1. Variación brillo-espesor para el barniz A1

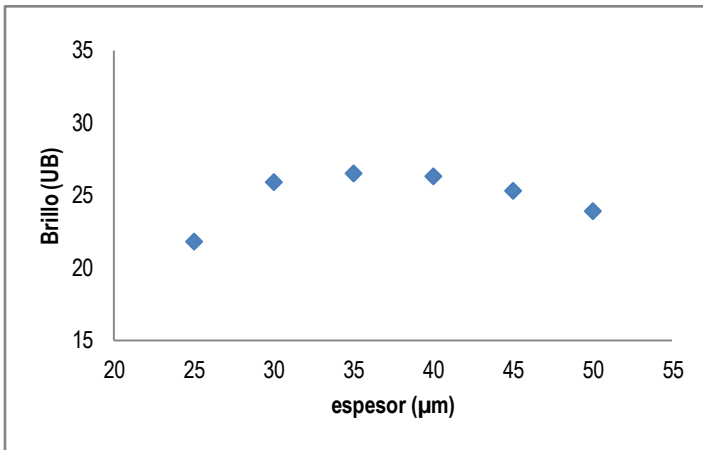


Gráfico 2. Variación brillo-espesor para el barniz A2

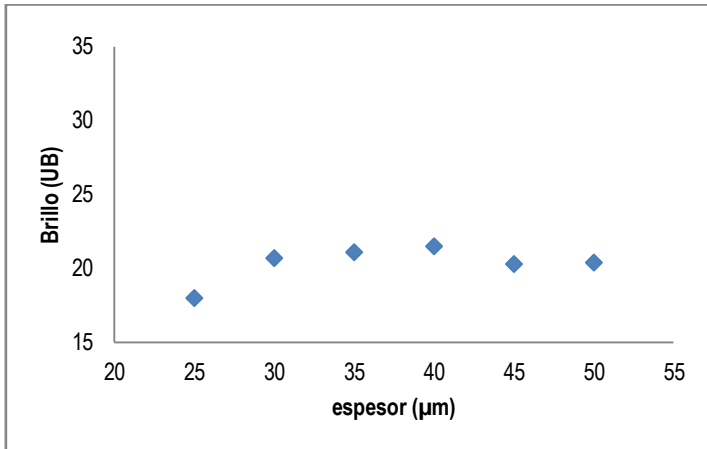


Gráfico 3. Variación brillo-espesor para el barniz B1

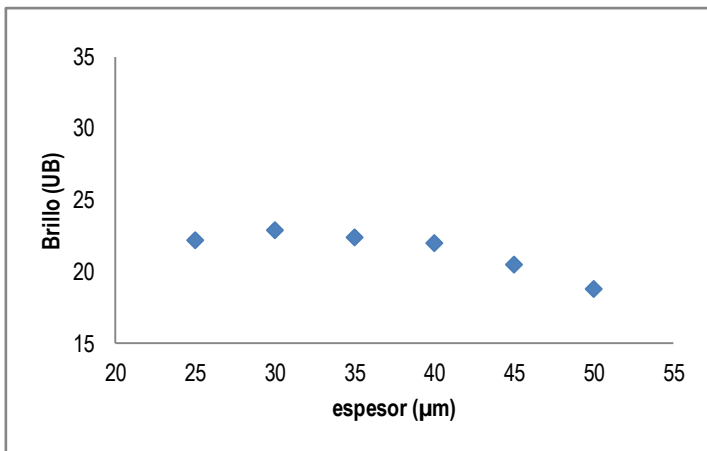


Gráfico 4. Variación brillo-espesor para el barniz B2

Se observa (gráficos 1 a 4) que en general el brillo aumenta con el espesor hasta llegar a un máximo. Este hecho se debe a que cuanto mayor es la capa aplicada, mejor se cubren las partículas de matizante, con lo cual, la superficie es menos rugosa y más brillante.

No obstante, cabría esperar que, al llegar al máximo, el brillo se mantuviera constante mientras que los resultados muestran una ligera bajada de brillo. Este hecho podría deberse a micro-descuelgues del barniz durante el pintado. Para comprobar esta hipótesis, se pintan tres paneles a espesores alrededor de 20, 40 y 60 $\mu\text{m}$  con una muestra de cada fórmula y se hace una media de los valores tomados en cada panel (gráficos 5 y 6).

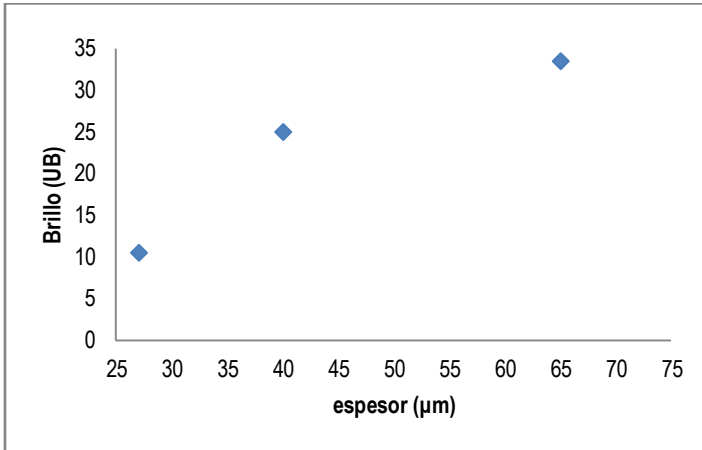


Gráfico 5. Estudio del efecto de los micro-descuelgues en el comportamiento del brillo frente al espesor para el barniz A2

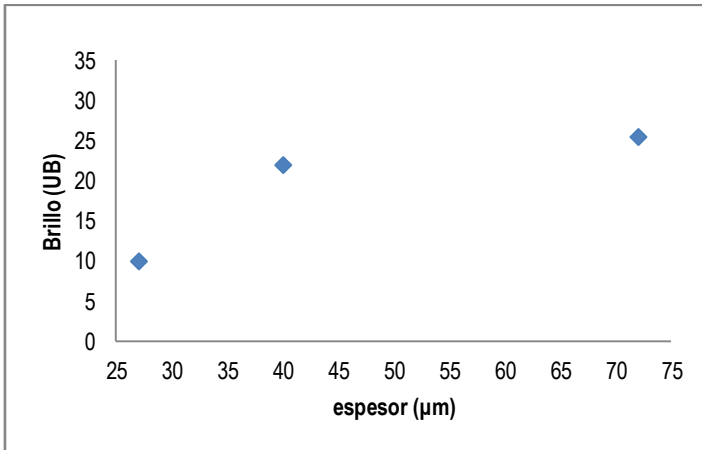


Gráfico 6. Estudio del efecto de los micro-descuelgues en el comportamiento del brillo frente al espesor para el barniz B1

Haciendo esta prueba se observa que desaparece esa bajada de brillo, así pues, la hipótesis del descuelgue queda confirmada.

Por otra parte, el descenso del brillo también podría estar influenciado por el efecto de micro-hervidos que se producen al aplicar capas de barniz demasiado gruesas. Estas pequeñas burbujas pueden sumarse al efecto del matizante y hacer disminuir el brillo final de la pieza.

Por otro lado, si bien no se aprecian grandes variaciones respecto al método de dispersión, si que se observa una mejor estabilidad del brillo respecto al espesor por parte de los barnices hechos a partir de la fórmula B que los que usan la fórmula A. Pues parece ser que en ellos la formación de película se da a espesores menores y esto hace que se llegue antes al máximo, lo cual amplía el intervalo de estabilidad del brillo de los barnices.

Por último, remarcar que, si bien es verdad que el efecto de los micro-descuelgues podría haberse minimizado pintando diferentes paneles cada uno con un espesor distinto, ésta opción ha sido rechazada debido a que se añadirían muchas más variables a tener en cuenta debido a las diferentes aplicaciones.

## 5.2. ESTABILIDAD DEL BRILLO

Este estudio se centra en la capa de  $30\mu\text{m}$ , pues es el que viene indicado en la hoja técnica y se encuentra en la zona de estabilidad del brillo respecto al espesor para todos los sujetos de ensayo. Observando los paneles obtenidos anteriormente a lo largo del tiempo se obtienen los siguientes datos de la evolución del brillo con el tiempo (gráficos 7 a 10):

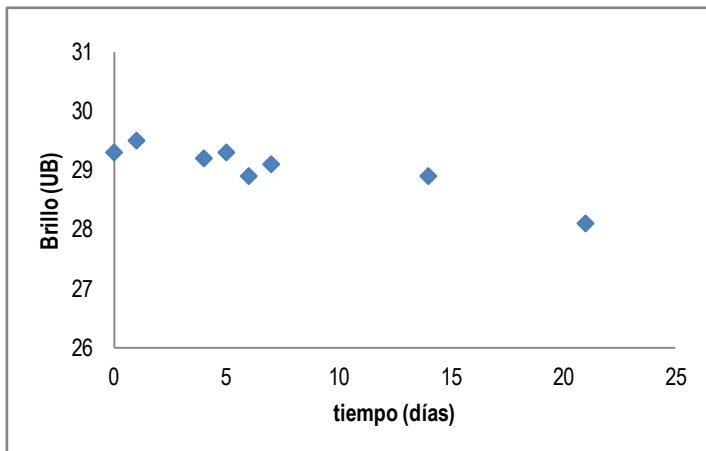


Gráfico 7. Variación brillo-tiempo para el barniz A1 a un espesor de  $30\mu\text{m}$

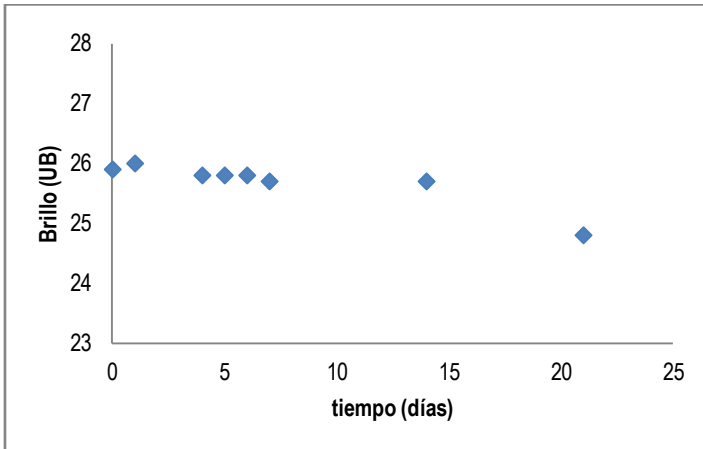


Gráfico 8. Variación brillo-tiempo para el barniz A2 a un espesor de 30µm

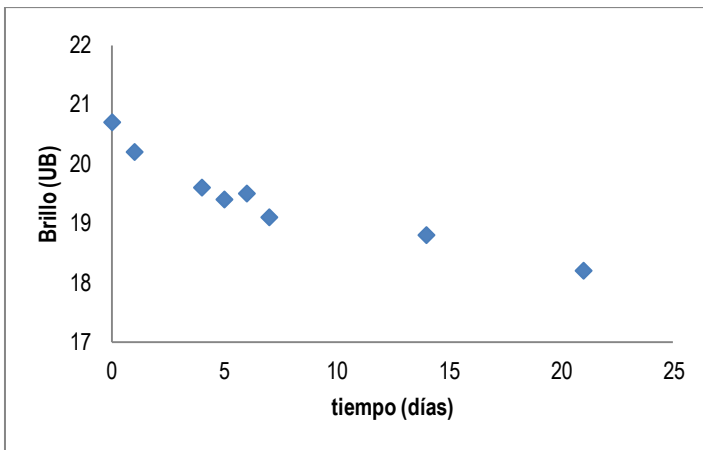


Gráfico 9. Variación brillo-tiempo para el barniz B1 a un espesor de 30µm



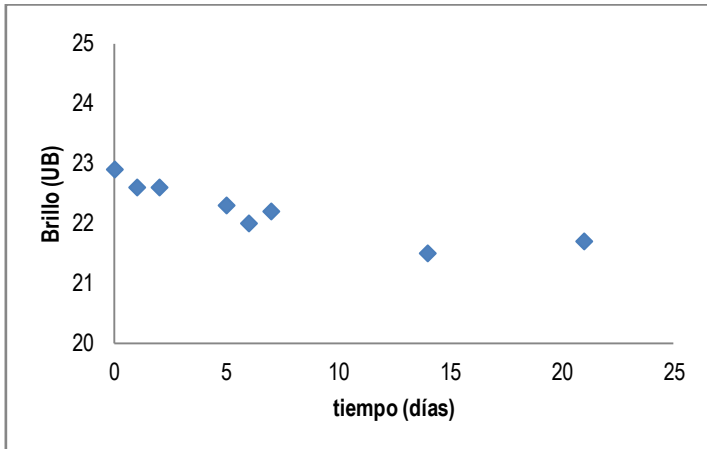


Gráfico 10. Variación brillo-tiempo para el barniz B2 a un espesor de 30µm

En todos los casos, si bien es verdad que los cambios son mínimos y se ha tenido que reducir la escala brillo para poder apreciar las variaciones de éste, se puede observar que parece haber una cierta tendencia a que el brillo disminuya con el tiempo.

Asimismo, mientras que para la fórmula A, no se observa prácticamente ningún cambio respecto a la estabilidad del brillo dependiendo del método de dispersión, en la fórmula B se aprecia una cierta mejora al realizar la dispersión por molino. Éste es, seguramente, el motivo por el que para la formulación A se especifica usar la dispersión por Cowles ya que, obteniendo el mismo resultado, usar el Cowles es menos laborioso que usar el molino.

### 5.3. REPRODUCIBILIDAD DE LOS RESULTADOS

A veces los barnices siguen reaccionando después de su preparación y éste hecho se ve reflejado en variaciones en el brillo entre pintados. Así pues, con el fin de estudiar la estabilidad de los barnices en estado líquido, se repite el proceso anterior varias veces a lo largo de un mes. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

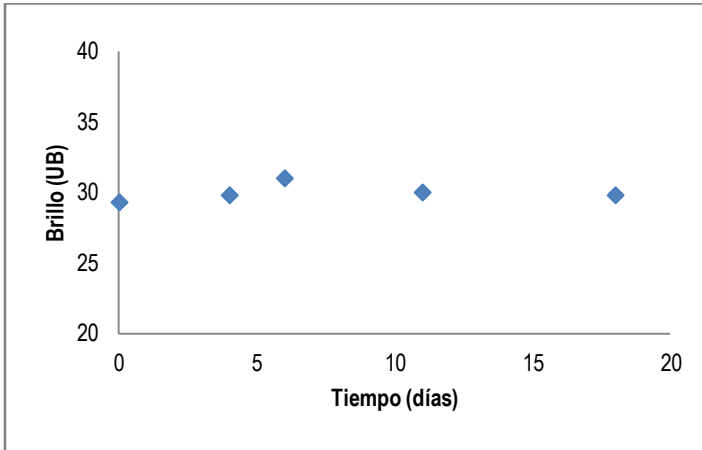


Gráfico 11. Reproducibilidad del brillo del barniz A1 para un espesor de  $30\mu\text{m}$

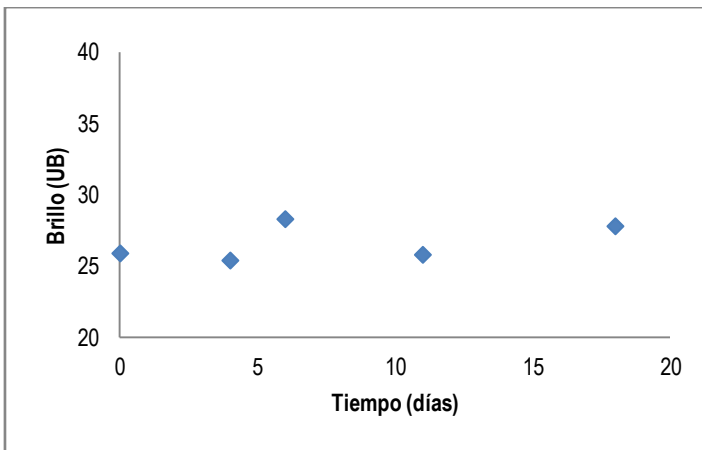


Gráfico 12. Reproducibilidad del brillo del barniz A2 para un espesor de  $30\mu\text{m}$

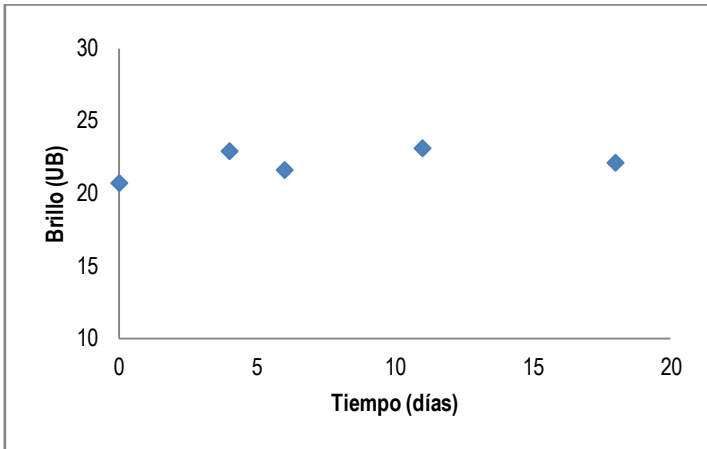


Gráfico 13. Reproducibilidad del brillo del barniz B1 para un espesor de 30µm

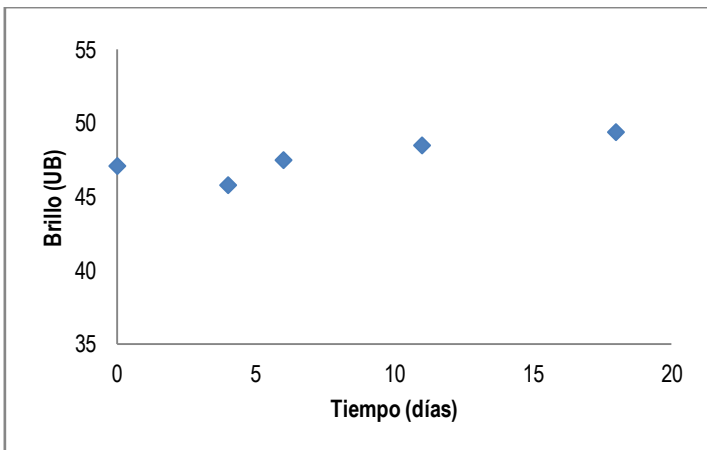


Gráfico 14. Reproducibilidad del brillo del barniz B2 (brillo no ajustado) para un espesor de 30µm

Dado que no se observa ninguna tendencia definida (gráficos 11 a 14), se deduce que, debido a que los efectos sobre el brillo producidos por variables externas son mayores que los producidos por los posibles cambios en los barnices, estos datos no permiten hacer ninguna afirmación respecto a si son estables o no salvo que, durante un periodo de 20 días, el brillo se mantiene dentro de un intervalo de  $\pm 2$  UB a partir la media de cada serie de datos para un espesor de 30µm.



## 6. CONCLUSIONS

- The gloss increases with the coat thickness but, if the applied coat is too thick, micro-sagging and micro-boiling can appear. That makes the gloss of the thickest parts of the coating decrease.
- The gloss stability with changes on the coat thickness is slightly better when using sand mill dispersion. Additionally, the stability of B clearcoats is better than the A ones.
- Generally, the gloss stability of a painted piece with the time improves when the product is dispersed by the sand mill process. So, although this fact is almost imperceptible on clearcoats using the formulation A, the improvement is considerable on the ones using the formulation B. While the clearcoat B1 is less stable than the others, the clearcoat B2 is almost as stable as A1 and A2.
- There have not been observed significant variations of gloss between different applications caused by changes on the liquid product. This is because the effect of external variables is bigger than the effect produced by any change on the product.
- With the aim of confirming that the liquid clearcoat is stable, this study should be widen in order to see if, in a larger period of time, changes become noticeable.
- Considering all the factors aforementioned, it is concluded that the best of the studied clearcoats is B2, which combine a good stability with the time and with changes on the coat thickness.



## REFERENCIAS Y NOTAS

1. Bentley, J.; Turner, G.P.A. *Química y Tecnología de Pinturas y Revestimientos*. Traducción: Madrid Vicente, A.; Madrid Cenzano, A. 1ª Ed. Española. Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones, 1999. ISBN 84-89922-11-X.
2. Morehouse Cowles. *Modern Dispersion Technology- A Primer in Dispersers* [en línea]. <<http://morehousecowles.com/pdfs/Fundamentals%20of%20Dispersion.pdf>> [Consulta: 20 nov. 2013]
3. Morehouse Cowles. *Operating Principles- Behind MorehouseCowles Media Mills* [en línea]. <<http://morehousecowles.com/products/mills/operating-principles-mills-morehouse.html>> [Consulta: 20 nov. 2013]
4. Elektro Physik USA. *Coating Thickness Measurement- MiniTest* [en línea]. <[http://www.epkusa.com/files/minitest\\_4100\\_a5.pdf](http://www.epkusa.com/files/minitest_4100_a5.pdf)> [Consulta: 8 dic. 2013]
5. Elcometer Limited. *Copas de viscosidad FORD/ASTM* [en línea]. <<http://www.elcometer.com/es/component/productmanager/productmanager/?prod=663>> [Consulta: 8 dic. 2013]
6. Axalta Coating Systems. *Paint Defects Solution Guide* [en línea]. <[http://pc.dupont.com/dpc/en/US/html/visitor/s/trouble/PDSG\\_Home.html](http://pc.dupont.com/dpc/en/US/html/visitor/s/trouble/PDSG_Home.html)> [Consulta: 9 ene. 2014]
7. Porta, Eugenio. *Curso de Pintado de Elementos Plásticos*. Documentación interna de AkzoNobel. Barcelona: 2011.
8. CIEC Promoting Science. *The Essential Chemical Industry* [en línea]. [York]: University of York. <<http://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and-applications/paints.html>> [Consulta: 15 dic. 2013]
9. Cromax Ibérica. *Sistemas para el tratamiento de superficies. El flameado, principios de funcionamiento*. Documentación interna de AkzoNobel. Barcelona: 2011.
10. Romero, Jerónimo. *Finura según EN ISO 1524:2000- Equipo (Grindómetro)*. Documentación interna de Akzo Nobel. Barcelona: 2008.





# APÉNDICES



## APÉNDICE 1. TABLAS DE RESULTADOS

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	4 días	5 días	6 días	7 días	14 días	21 días
25	23,2	23,8	23,6	23,4	23,4	23,4	22,9	22,4
30	29,3	29,5	29,2	29,3	28,9	29,1	28,9	28,1
35	30,2	30,4	30,1	30,1	29,7	29,7	29,8	29,1
40	30,3	30,3	29,9	29,9	29,6	29,6	29,6	28,8
45	29,3	29,2	28,9	28,9	28,5	28,6	28,5	27,7
50	28,5	28,2	28,0	28,0	27,6	27,7	27,5	26,8

Tabla 2. Lecturas de brillo (UB) del barniz A1, pintado a to

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	4 días	5 días	6 días	7 días	14 días	21 días
25	21,8	21,9	21,7	21,9	21,6	21,5	21,1	20,4
30	25,9	26,0	25,8	25,8	25,8	25,7	25,7	24,8
35	26,5	26,6	26,5	26,4	26,2	26,4	26,0	25,4
40	26,3	26,6	26,3	26,4	26,5	26,2	26,1	25,4
45	25,3	25,6	25,5	25,6	25,6	25,3	25,1	24,4
50	23,9	24,4	24,4	24,4	24,7	24,6	24,1	23,4

Tabla 3. Lecturas de brillo (UB) del barniz A2, pintado a to

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>4 días</b>	<b>5 días</b>	<b>6 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>
25	18,0	18,1	17,3	16,8	16,9	16,7	16,2	15,7
30	20,7	20,2	19,6	19,4	19,5	19,1	18,8	18,2
35	21,1	20,4	20,2	19,9	20,1	19,8	19,3	18,8
40	21,5	21,0	20,5	20,0	20,2	20,2	19,5	19,1
45	20,3	19,9	19,3	18,9	19,0	19,0	18,5	18,0
50	20,4	19,9	19,4	19,0	19,0	19,1	18,7	18,1

Tabla 4. Lecturas de brillo (UB) del barniz B1, pintado a  $t_0$ 

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>5 días</b>	<b>6 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>
25	22,2	21,9	21,9	21,7	21,5	21,7	20,9	21,0
30	22,9	22,6	22,6	22,3	22,0	22,4	21,5	21,7
35	22,4	22,1	22,1	22,0	21,7	22,1	21,0	21,2
40	22,0	21,6	21,6	21,4	21,3	21,3	20,6	20,7
45	20,5	20,2	20,1	20,1	20,0	20,0	19,2	19,2
50	18,8	18,7	18,6	18,6	18,5	18,4	17,7	18,0

Tabla 5. Lecturas de brillo (UB) del barniz B2, pintado a  $t_0$ 

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>4 días</b>	<b>5 días</b>	<b>6 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>
25	44,4	44,0	43,0	42,5	43,4	42,0	40,6	39,4
30	47,1	46,4	45,6	45,1	46,1	44,2	42,9	41,7
35	49,1	48,5	47,5	47,1	48,0	46,5	45,1	43,9
40	48,9	48,5	47,1	46,5	47,1	46,1	44,9	43,6
45	47,9	47,2	46,1	45,4	45,0	45,1	43,5	42,5
50	48,0	47,2	46,0	45,6	44,8	45,0	43,4	42,3

Tabla 6. Lecturas de brillo (UB) del barniz B2 (brillo no ajustado), pintado a  $t_0$

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	2 días	3 días	4 días	7 días	14 días	21 días
25	26,5	26,7	26,7	26,0	25,9	25,8	25,5	25,2
30	29,8	29,6	29,7	28,9	28,7	29,0	28,3	28,2
35	32,1	31,9	31,6	31,3	31,2	31,4	31,1	30,8
40	32,6	33,0	32,9	32,5	32,3	32,5	32,2	31,6
45	31,0	31,0	31,5	30,7	30,5	30,8	30,5	29,9
50	30,5	30,6	31,0	30,4	29,9	30,4	30,0	29,4

Tabla 7. Lecturas de brillo (UB) del barniz A1, pintado a 4 días

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	2 días	3 días	4 días	7 días	14 días	21 días
25	23,7	23,7	23,8	23,5	23,5	23,7	23,2	22,8
30	25,4	25,3	25,5	25,1	25,1	25,2	25,0	24,6
35	28,5	28,3	28,4	28,1	27,8	28,1	28,1	27,7
40	28,2	27,8	27,9	27,7	27,5	27,7	27,9	27,3
45	28,5	28,1	28,1	28,2	27,9	28,2	28,3	27,8
50	26,7	26,2	26,2	26,3	25,8	26,0	26,3	25,9

Tabla 8. Lecturas de brillo (UB) del barniz A2, pintado a 4 días

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	2 días	3 días	4 días	7 días	14 días	21 días
25	22,0	21,3	21,5	21,0	20,8	20,9	20,5	19,7
30	22,9	22,0	22,1	21,6	21,2	21,3	20,9	20,1
35	22,8	22,0	22,1	21,7	21,3	21,3	20,9	20,1
40	22,8	21,9	22,1	21,6	21,4	21,2	20,9	19,9
45	22,9	22,0	22,1	21,8	21,4	21,5	21,0	20,1
50	21,8	21,0	21,1	20,8	20,4	20,5	19,9	19,1

Tabla 9. Lecturas de brillo (UB) del barniz B1, pintado a 4 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>3 días</b>	<b>4 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>
<b>25</b>	44,0	44,2	44,3	44,0	43,3	43,5	41,7	40,0
<b>30</b>	45,8	45,2	45,3	45,4	44,6	44,3	42,8	41,1
<b>35</b>	46,7	46,8	46,7	46,7	45,9	45,7	44,6	42,9
<b>40</b>	46,3	46,2	46,5	46,2	45,2	45,6	44,2	42,6
<b>45</b>	44,4	44,3	44,4	44,6	43,8	44,0	42,5	40,9
<b>50</b>	44,3	43,6	43,6	43,8	43,1	43,3	41,9	40,3

Tabla 10. Lecturas de brillo (UB) del barniz B2 (brillo no ajustado), pintado a 4 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>5 días</b>	<b>6 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>
<b>25</b>	24,4	24,2	24,4	23,7	23,8	24,1	23,4	23,5
<b>30</b>	29,8	29,7	29,9	29,8	29,6	29,8	29,2	29,4
<b>35</b>	34,7	34,7	34,6	34,4	34,3	34,7	34,2	34,4
<b>40</b>	34,1	33,9	34,1	33,9	34	34,1	33,8	33,9
<b>45</b>	33,5	33,5	33,8	33,6	33,5	33,6	33,3	33,4
<b>50</b>	31,9	31,8	32,3	31,9	31,9	32,1	31,7	31,8

Tabla 11. Lecturas de brillo (UB) del barniz A1, pintado a 6 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>5 días</b>	<b>6 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>
<b>25</b>	24,3	23,5	23,3	23,4	23,6	23,5	23,2	23,3
<b>30</b>	28,3	27,2	27,0	26,9	27,1	27,4	26,9	26,9
<b>35</b>	31,5	30,5	30,2	29,9	30,4	30,6	29,9	30,1
<b>40</b>	30,4	29,0	28,9	28,7	29,3	29,4	28,6	28,7
<b>45</b>	29,9	28,6	28,2	28,2	29,0	28,9	28,4	28,4
<b>50</b>	27,6	26,4	26,2	26,1	26,6	26,7	26,1	26,3

Tabla 12. Lecturas de brillo (UB) del barniz A2, pintado a 6 días

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	2 días	5 días	6 días	7 días	14 días	21 días
25	20,5	20,1	20,1	19,8	19,8	19,6	18,7	19,0
30	21,6	21,3	21,2	20,7	20,7	20,8	19,6	19,8
35	21,7	21,1	21,1	20,8	20,9	20,8	19,8	20,1
40	22,4	21,6	21,8	21,5	21,5	21,5	20,5	20,8
45	21,2	21,1	20,9	20,8	20,9	20,5	19,6	19,8
50	21,3	21,0	21,0	20,5	20,7	20,4	19,6	19,6

Tabla 13. Lecturas de brillo (UB) del barniz B1, pintado a 6 días

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	2 días	5 días	6 días	7 días	14 días	21 días
25	45,2	44,4	44,4	44,1	43,1	43,6	41,5	41,6
30	47,5	46,7	47,0	46,6	45,2	45,9	43,8	44,0
35	48,1	47,1	47,2	46,8	45,5	46,0	43,9	44,1
40	50,3	49,2	49,3	48,8	48,0	48,4	46,1	46,2
45	48,8	47,9	48,6	47,7	47,3	46,9	44,8	44,9
50	49,0	48,2	48,9	48,5	47,7	47,0	44,9	45,0

Tabla 14. Lecturas de brillo (UB) del barniz B2 (brillo no ajustado), pintado a 6 días

Espesor ( $\mu\text{m}$ )	$t_0$	24h	2 días	3 días	7 días	14 días
25	27,4	27,6	27,5	27,4	27,2	26,3
30	30,0	30,2	30,1	30,3	29,9	28,9
35	33,1	33,3	33,7	33,7	33,3	32,3
40	34,3	34,7	34,8	34,9	34,6	33,3
45	32,7	32,8	33,5	33,4	33,3	32,1
50	32,6	32,7	33,5	33,5	33,3	31,9

Tabla 15. Lecturas de brillo (UB) del barniz A1, pintado a 11 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>
<b>25</b>	23,3	23,4	23,3	22,7	22,7	22,0
<b>30</b>	25,8	25,8	26,1	25,8	25,8	25,0
<b>35</b>	28,4	28,5	28,6	28,3	28,2	27,2
<b>40</b>	29,3	29,7	29,6	29,6	29,6	28,3
<b>45</b>	29,0	29,2	29,3	29,4	29,2	28,1
<b>50</b>	27,9	28,0	28,1	38,2	28,0	27,0

Tabla 16. Lecturas de brillo (UB) del barniz A2, pintado a 11 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>
<b>25</b>	21,5	19,9	20,8	20,5	20,0	19,6
<b>30</b>	23,1	22,0	22,6	22,4	21,9	21,3
<b>35</b>	23,3	22,2	22,9	22,7	22,1	21,4
<b>40</b>	24,4	23,3	24,0	23,8	23,2	22,6
<b>45</b>	24,3	23,3	23,7	23,8	23,1	22,5
<b>50</b>	23,8	23,0	23,6	23,4	22,7	22,1

Tabla 17. Lecturas de brillo (UB) del barniz B1, pintado a 11 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>
<b>25</b>	47,2	45,7	46,1	45,6	45,0	43,6
<b>30</b>	48,5	47,2	47,4	47,5	46,5	45,0
<b>35</b>	50,4	48,5	49,1	49,0	48,1	46,6
<b>40</b>	50,9	49,4	49,7	49,8	48,7	47,3
<b>45</b>	49,6	49,1	49,1	49,2	48,2	46,6
<b>50</b>	49,0	48,7	48,7	48,8	47,6	46,3

Tabla 18. Lecturas de brillo (UB) del barniz B2 (brillo no ajustado), pintado a 11 días



<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>4 días</b>	<b>7 días</b>
<b>25</b>	27,0	26,8	26,5	25,7	25,9
<b>30</b>	29,8	29,8	29,4	28,7	28,6
<b>35</b>	32,4	32,1	31,7	30,8	31,0
<b>40</b>	32,6	32,1	31,6	30,8	31,0
<b>45</b>	31,8	31,4	30,9	30,0	30,1
<b>50</b>	30,4	30,0	29,5	28,7	28,8

Tabla 19. Lecturas de brillo (UB) del barniz A1, pintado a 18 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>24h</b>	<b>2 días</b>	<b>4 días</b>	<b>7 días</b>
<b>25</b>	23,8	23,7	24,0	22,8	23,4
<b>30</b>	27,8	27,8	27,9	26,8	27,3
<b>35</b>	28,8	28,7	28,9	27,7	28,2
<b>40</b>	30,0	29,8	29,8	28,7	29,1
<b>45</b>	28,1	27,7	27,9	26,9	27,2
<b>50</b>	26,5	26,4	26,5	25,3	25,6

Tabla 20. Lecturas de brillo (UB) del barniz A2, pintado a 18 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>24h</b>	<b>3 días</b>	<b>4 días</b>
<b>25</b>	19,7	19,6	18,7	18,7
<b>30</b>	22,1	21,8	20,7	20,6
<b>35</b>	22,6	22,3	21,2	21,0
<b>40</b>	23,5	23,2	22,1	21,9
<b>45</b>	23,1	22,8	21,7	21,6
<b>50</b>	22,4	22,1	21,0	20,8

Tabla 21. Lecturas de brillo (UB) del barniz B1, pintado a 18 días

<b>Espesor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>t_0</math></b>	<b>24h</b>	<b>3 días</b>	<b>4 días</b>
<b>25</b>	47,4	46,9	45,2	44,8
<b>30</b>	49,4	49,0	47,2	46,7
<b>35</b>	51,5	50,9	49,1	48,7
<b>40</b>	51,3	50,9	48,8	48,5
<b>45</b>	50,5	50,0	47,8	47,5
<b>50</b>	51,0	50,3	48,3	47,8

Tabla 22. Lecturas de brillo (UB) del barniz B2 (brillo no ajustado), pintado a 18 días

