



# Treball Final de Grau

**Determination and validation of an assay generic matrix for coating development in automotive plastic pieces.**

**Determinación y validación de una matriz genérica de ensayos para el desarrollo de revestimientos en piezas plásticas de automoción.**

Enrique Gutiérrez Escolano

*Enero 2014*



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



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



*Si no conozco una cosa, la investigaré.*

Louis Pasteur

*Mis más sinceros agradecimientos a:*

*Todas las personas que forman el equipo técnico de AkzoNobel, por todos los consejos y ayuda prestada durante el transcurso del proyecto.*

*También agradecer a mi familia el apoyo prestado durante este tiempo, sin el cual no habría podido culminar este proyecto.*



**REPORT**



# CONTENTS

<b>SUMMARY</b>	3
<b>RESUMEN</b>	5
<b>1. INTRODUCTION</b>	7
1.1. PROJECT BACKGROUND	7
1.2. GROUPS VALIDATION	8
<b>2. OBJECTIVES</b>	9
<b>3. SISTEMA DE ENSAYO</b>	10
<b>3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</b>	10
3.1.1. Sustrato	10
3.1.2. Imprimación o Primer	11
3.1.3. Base de color o Basecoat	13
3.1.4. Barniz o Clearcoat	14
<b>3.2. PREPARATIVA Y VALIDACIÓN</b>	15
3.2.1. Preparativa de las bases de color	15
3.2.2. Validación del sistema de ensayo	16
3.2.3. Obtención de paneles de ensayo comparativos	17
3.2.3.1. <i>Flameado</i>	17
3.2.3.2. <i>Aplicación de las distintas capas de pintura</i>	18
3.2.3.3. <i>Envejecimiento</i>	20
<b>4. DESARROLLO DE UNA MATRIZ INICIAL DE ENSAYOS</b>	20
4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	21
4.2. CLASIFICACIÓN POR BLOQUES TEMÁTICOS	21
4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	23
4.3.1. Adherencia por cuadrícula	23

4.3.2. Adherencia por lavado a alta presión _____	24
4.3.3. Gravillonado _____	26
4.3.4. Ensayo en cámara de humedad _____	28
4.3.5. Ensayo por inmersión _____	30
4.3.6. Ensayo por ciclos térmicos _____	31
4.3.6.1. <i>Climáticos</i> _____	32
4.3.6.2. <i>Shock térmico</i> _____	32
4.3.7. Resistencias Químicas _____	32
<b>5. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS _____</b>	<b>33</b>
<b>5.1. ADHERENCIA POR CUADRÍCULA _____</b>	<b>33</b>
<b>5.2. ADHERENCIA POR LAVADO A ALTA PRESIÓN _____</b>	<b>34</b>
<b>5.3. GRAVILLONADO _____</b>	<b>35</b>
<b>5.4. ENSAYO EN CÁMARA DE HUMEDAD _____</b>	<b>37</b>
<b>5.5. ENSAYO POR INMERSIÓN _____</b>	<b>39</b>
<b>5.6. CICLOS CLIMÁTICOS _____</b>	<b>39</b>
<b>5.7. CICLOS DE SHOCK TÉRMICO _____</b>	<b>41</b>
<b>5.8. RESISTENCIAS QUÍMICAS _____</b>	<b>42</b>
<b>6. CONCLUSIONS _____</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA _____</b>	<b>47</b>
<b>APÉNDICES _____</b>	<b>49</b>
<b>APÉNDICE 1: MATRICES DE ENSAYO _____</b>	<b>51</b>
<b>APÉNDICE 2: CONDICIONES DE LOS ENSAYOS _____</b>	<b>57</b>

## **SUMMARY**

The use of automotive plastic parts has greatly increased, and thus the need to develop new coatings to give them protective and visual characteristics.

The requirements for the paintings in the automotive industry are evidenced by a list of assays that analyze the structural properties of the product once applied on the plastic component. Note that each automotive group needs a different testing methodology and requirements, and thus validating a product is difficult for several brands.

The main objective of this work, identify and validate an assay generic matrix for the development of coatings on automotive plastic components, will be addressed first by the bibliographic study of required assays from the chosen companies to analyse. From this first study, a primary assay matrix containing all existing assays, will be obtained. Using selection criteria, the primary assay matrix will be reduced to one containing the assays to be performed.

Once finished the assays, using a system that allows the comparison of the results obtained, the methodology of each assay will be analysed in order to see which is the most severe and therefore the most suitable to form part of an assay generic matrix. That allows performing the validation of a new product for several automotive brands.

From the analysis of 8 assays with different methodology, which are common in 12 AkzoNobel's usual automotive market brands, each of them evaluates a different characteristic of the coating. A discriminated result has been obtained in 7 cases, therefore a generic restrictive validation has been generated for the development of new products for several brands.



## **RESUMEN**

La utilización de piezas plásticas en automoción ha crecido ostensiblemente y con ello la necesidad de desarrollar nuevos recubrimientos que le den a éstas un carácter protector y visual.

La exigencia requerida para las pinturas en el sector de la automoción se pone de manifiesto a través de un listado de ensayos que analizan las propiedades estructurales una vez aplicado el producto sobre la pieza plástica. Cabe destacar que cada grupo automovilístico requiere una metodología de ensayo y exigencias distintas, y por ello validar un producto para diversas marcas es dificultoso

El objetivo de este trabajo, determinar y validar una matriz genérica de ensayos para el desarrollo de revestimientos en piezas plásticas de automoción, se abordará, en primer lugar, mediante el estudio bibliográfico de los ensayos requeridos por las compañías escogidas para análisis. De este primer estudio se obtendrá una matriz primaria de ensayos que contenga la totalidad de ensayos existentes. Utilizando criterios de selección, se reducirá la matriz de ensayos primaria a una la cual contenga los ensayos a realizar.

Tras la realización de los ensayos, utilizando un sistema que permita la comparativa de los resultados obtenidos, se analizarán cuáles de los ensayos realizados son más severos y por ello los más adecuados para la formación de una matriz genérica de ensayos, que permita la validación de productos de nuevo desarrollo para diversas marcas automovilísticas.

De los análisis de 8 ensayos con metodología distinta, comunes en 12 marcas del mercado habitual de AkzoNobel, cada uno de ellos evaluando una característica distinta del revestimiento. Se ha obtenido un resultado discriminatorio en 7 de los casos estudiados, por tanto se han obtenido 7 metodologías de ensayo restrictivas que permiten una validación generalizada del producto para esos ensayos.



# 1. INTRODUCTION

## 1.1. PROJECT BACKGROUND

In this project, situated on the automotive plastic coating industry, will be treated the issue of validating a new coating for several OEM's. The increased use of plastic components in the automotive industry has created the needs to develop products that provide protective and visual characteristics. Also the automotive companies, demand that the develop coating has a great quality, analyse by a list of assays that test properties like the adhesion between layers, abrasion resistance or chemical resistance. Therefore, to develop a product for several OEM's will be essential make the required validating process

To introduce the reader in this world should be defined the following subjects:

- a) What is an OEM? OEM refers the abbreviation of Original Equipment Manufacturer, in other words an OEM could be directly the company, like Volkswagen, Fiat, BMW, etc., that produce original equipment or in other hand refers a member company that manufacture equipment with an original certificate. In our case, we will discuss the concept of OEM as different requirements of each company to validate a new coating.
- b) What involves a validation? To obtain a validation of a new product, the developed coating should to pass a list of assays that prove the consistence of the paint system. Characteristics like adhesion between different layers, behaviour against chemicals aggressions or environmental attacks have to be evaluated. Usually this implies an average of 20 assays for each OEM.

Once defined the aforementioned subjects should be noted that a great company like AkzoNobel, who develop and sell a great variety of coatings for many OEM's, at the moment of validating a new product for several OEM's have to do different assays with different specifications which evaluate the same property versus the same attack. This fact leads to

suppose a waste of time which can be optimized by doing the most restrictive assay of the analyzed OEM's, ensuring that the new coating fulfil specifications of all OEM's.

## 1.2. CAR BRANDS VALIDATION

At this point, after analysing many specifications, we noted that each OEM has an average of seven relevant assays regardless of chemical aggressions which are composed of several assays too. Keeping in mind the experimental time we have and AkzoNobel's usual market brands, the following twelve automotive groups will be studied:

- a) Fiat group: form by Fiat, Lancia and Alfa Romeo.
- b) Ford.
- c) Mercedes.
- d) PSA group form by Peugeot and Citroën.
- e) GM group: form by General Motors and Opel.
- f) Renault.
- g) Toyota.
- h) Volvo.
- i) Volkswagen group: form by Volkswagen, Audi, Seat and Skoda.
- j) BMW group: form by BMW and Mini.
- k) Honda.
- l) Nissan.

Regarding assays, aims to analyze the adhesion between layers which compounds the paint system. Some of them evaluate this over the paint system after an ageing, in these cases will be evaluated his effect. In addition, regarding chemical aggressions will only evaluate the consistence of clearcoat.

## 2. OBJECTIVES

From the problem that exists at the time for validating a new product for several OEM's, emerges as main objective of this work, the selection of a restrictive assay matrix which enables to discriminate whether a new product will be valid for a specific range of companies.

This matrix will be validated through testing a standardized system which makes possible compare the obtained results.

To reach this objective, the following sub-objectives will be addressed:

- a) Classification of information about the assays. Tests required by the different OEM's will be collected with the purpose of create an initial assay matrix, which illustrates the coinciding assays between specifications. In order to manage this, a bibliographic work about twelve OEM's will be carried out.
- b) Selection of assays to be carried out. The most relevant assays to validate a new product will be chosen and classified through thematic blocks. Notably, assays that require a long period of time to take place will be discarded given the constraint of time to develop the project.
- c) Experimental validation. In order to see which specifications are more restrictive, the chosen assays will be performed according to the methodologies established by each OEM.
- d) Selection of restrictive assays. Analyzing and comparing the experimental results, the most restrictive assays will be selected to create the definitive matrix.

## **3. SISTEMA DE ENSAYO**

### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

En este apartado se realiza una descripción de los componentes que posteriormente formarán nuestro sistema de ensayo. Es importante conocer de manera específica las funciones y características de los componentes del sistema y así poder justificar por qué la elección de estos y no otros.

#### **3.1.1. Sustrato**

Se define como sustrato el material base sobre el cual se aplica el sistema de pintura. En la industria de la automoción generalmente se trata de sustratos metálicos o plásticos. En nuestro caso, el proyecto presente se sitúa en la industria de revestimientos para componentes plásticos de automoción, por tanto los sustratos comúnmente utilizados serán polímeros de cadena.

Los sustratos más utilizados en la industria de la automoción son el Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS y el Polipropileno o PP. La elección de uno u otro se basa en las exigencias que requiera la pieza automotriz a elaborar, es decir si se trata de un parachoques el cual requiere flexibilidad para absorber posibles choques el sustrato más conveniente será el polipropileno; en cambio para componentes que requieran solidez o tratamientos cromados el uso de ABS será más indicado.

En la elección del sustrato que formaría parte del sistema de ensayo, se tuvo en consideración lo siguiente:

- a) ¿Qué tipo de ensayos se realizarán? Como posteriormente se describirán existen ensayos los cuales consisten en simulaciones aceleradas sea por ciclos climáticos o por ambientes agresivos, otros consisten en impactos repetidos, shocks térmicos, etc. Esto supondrá que el sustrato sufrirá una serie de exigencias que podrían comprometer su estado y en

consecuencia repercutir sobre el sistema de pintura. Como el objetivo de los ensayos es analizar su efecto sobre el revestimiento, se deberá escoger un sustrato el cual no ejerza como factor limitante en los resultados obtenidos finalmente.

- b) Afinidad estructural con el revestimiento. Recalcando que las limitaciones del sistema deben estar sujetas a las características del revestimiento y por tanto cuanto más flexible sea el sustrato mejor se adaptará a posibles modificaciones estructurales del revestimiento, la elección del sustrato vendrá definida por su flexibilidad.

Dicho lo anterior se creyó que la elección más acertada como sustrato que formaría parte del sistema de ensayo, sería el polipropileno dada su flexibilidad y gran resistencia al estrés.

Para llevar a cabo los ensayos, se utilizarán paneles de polipropileno inyectado con unas dimensiones de 100x200 mm. Para asegurar que los resultados obtenidos entre distintos paneles sean comparativos, se dispondrá de paneles que pertenecen a un mismo lote de inyección.

### **3.1.2. Imprimación o Primer**

Se define como imprimación la capa base que formará el sistema pintura, la cual recubre el sustrato mejorando las aplicaciones de las siguientes capas del revestimiento.

Las funciones principales de la imprimación son:

- a) Promover la adherencia entre las capas que formarán el revestimiento.
- b) Proteger el sustrato de posibles ataques de disolventes contenidos en la capa de color y así evitar que se cuartee el revestimiento producto de la liberación de tensiones de inyección del material.
- c) En los casos que el sustrato sea plástico y se proceda a una aplicación con carga electrostática, la imprimación actuará como conductor permitiendo la envoltura de la siguiente capa.
- d) Corregir o rellenar defectos del sustrato, para así obtener una superficie lisa para las siguientes aplicaciones.

Para que el lector se haga una idea de lo que supone la formulación de una imprimación, esta se compone generalmente de una mezcla de resinas que aportan la consistencia

mecánica y adherencia óptimas entre capas, pigmentos que confieren un color neutro que no interfiera con las capas siguientes, pigmentos funcionales o cargas que aportan mejoras de aplicabilidad, resistencias químicas, capacidad de relleno, etc. Por otro lado disolventes diversos atendiendo a características químicas y velocidad de evaporación, que principalmente intervienen en el proceso de aplicación. Por último, un conjunto de aditivos que en pequeñas cantidades aportan una mejora sustancial en las características finales del film.

Atendiendo a lo anterior, se debe resaltar la criticidad de la imprimación en la totalidad del revestimiento, ya que un error en la formulación de ésta supondría efectos dañinos en las capas siguientes.

En cuanto al modo de aplicación, se pueden distinguir dos tipos de imprimaciones:

- a) Imprimación húmeda: consiste en la aplicación de la imprimación sobre el sustrato, seguida de un tiempo de secado por evaporación (o flash-off) del exceso de disolventes contenidos en ella y posteriormente se aplica la base de color sobre la imprimación húmeda.
- b) Imprimación seca: consiste en la aplicación de la imprimación sobre el sustrato, seguida de un tiempo de secado por evaporación (o flash-off) del exceso de disolventes contenidos en ella y de un tiempo de estufado a una temperatura de 80°C acelerando así la reacción que se produce entre un componente endurecedor y las resinas. En este caso la aplicación de la base de color no requiere tanta celeridad ya que es recomendable la aplicación en el intervalo máximo de un día tras el estufado.

Respecto al proyecto a realizar, la imprimación se escoge teniendo en cuenta el número de paneles que se necesitarán para realizar la totalidad de los ensayos. Es decir, como el número de paneles será considerablemente alto, se decide escoger una imprimación la cual se estufe. Esto permite disponer de los paneles de polipropileno imprimados y secos para la posterior aplicación de la base de color y el barniz que como se verá a posteriori es más crítica respecto a los tiempos de aplicación que afectan directamente a las propiedades del revestimiento.

Cabe resaltar también, que debido a la cantidad de componentes que forman la imprimación y lo ajustada que debe ser su preparación, se decide trabajar con un producto acabado de fábrica que de antemano sabemos se adaptará bien a nuestro sistema, la validación del cual se describe en el apartado 3.2.2.

### 3.1.3. Base de color o Basecoat

Se define como base de color o basecoat a la capa que confiere el color deseado a nuestro sistema de pintura. Ésta, debido a su pobreza de brillo y resistencias químicas necesita siempre la aplicación posterior de una capa de barniz.

De forma genérica se puede ilustrar la fórmula de una base de color como el conjunto de bases, pigmentos sólidos previamente dispersados, y un seguido de disolventes compatibles con estos, añadiendo también aditivos de superficie. Por tanto la cantidad de componentes en la formulación se ve reducida. Lo que se quiere ilustrar con lo anteriormente dicho es que la preparación de una base de color es de menor dificultad y conlleva menor criticidad sobre las propiedades del sistema respecto a la de una imprimación debido a la lista de componentes. No debe pensarse que el desarrollo de una nueva base de color es sencillo, ya que desarrollar una formulación final que satisfaga el color deseado sin perjudicar propiedades esenciales del revestimiento conlleva un largo camino.

Según el tipo de pigmentos que contenga una base de color se pueden distinguir tres tipos:

- a) Base de color sólida: es aquella exenta de partículas de aluminio o micas caracterizada por un tono pastel.
- b) Base de color metalizada: es aquella que contiene partículas de aluminio en su formulación. Con ello se consigue mayor efecto estético y un reflejo de la luz como si se tratase de un espejo. Otro dato importante a destacar es la criticidad de este tipo de bases de color debido al contenido de partículas de aluminio en su interior, que pueden provocar defectos posteriores a la aplicación (nubes) y acrecentar el efecto que provocan algunos envejecimientos acelerados.
- c) Base de color nacarada: es aquella que contiene partículas de mica. Estas le confieren un efecto perla conseguido por el reflejo de la luz desde el interior del pigmento.

La elección de las bases de color para nuestro proyecto tuvo en cuenta:

- a) El tipo de ensayos que se realizarían. En casos como el análisis de resistencias químicas la base de color debe ser de color negro. Por otro lado ensayos en los cuales debe analizarse las capas afectadas, un color blanco facilitaría la tarea por contraste de color. También, en ensayos que

contienen ciertos envejecimientos acelerados, el uso de una base de color metalizada acrecentará su efecto permitiendo observar diferencias.

- b) Consistencia de las bases de color. Se escogen bases de color estandarizadas y de formulación establecida las cuales aseguran un comportamiento positivo ante los distintos ensayos y asegura partir con un sistema de pintura equilibrado y conocido. También los parámetros óptimos de aplicación estarán fijados.

Por todo lo anterior se decide preparar tres bases de color distintas, a partir de materias primas de nueva producción según la fórmula y el proceso establecidos. Dos de tipo sólida, una de color negro y la otra de color blanco, y una base de color metalizada.

### **3.1.4. Barniz o Clearcoat**

Se define como barniz o clearcoat a la capa final que compone el sistema de pintura, la cual está exenta de pigmentos, confiere el acabado final deseado y protección duradera en el tiempo al sistema.

Las funciones protectoras principales son:

- a) Protección ante agentes químicos como pueden ser ácidos, álcalis, etc.
- b) Protección ante agentes climáticos como pueden ser rayos UV, lluvia, humedad, etc.
- c) Protección ante agentes disolventes.
- d) Protección ante la abrasión debido a sistemas de limpieza, agentes abrasivos, etc.

Respecto a su formulación, de manera genérica se asemeja en componentes a la de las imprimaciones, exceptuando los pigmentos. Es usual la combinación de varios tipos de resinas (acrílicas, poliéster, etc.) que hagan mejorar prestaciones en términos de adherencia, durabilidad y aspecto final. En el caso de los barnices la complejidad de la formulación radica en aportar las resistencias correspondientes a un abanico muy diverso de ataques externos.

Para la realización de nuestro proyecto, se decidió obtener un barniz en forma de producto acabado directamente de fábrica por los mismos motivos justificados para la imprimación. Respecto a la naturaleza del barniz se creyó conveniente escoger un barniz flexible, compuesto mayoritariamente por resinas de poliéster que confieren mayor flexibilidad que los poliácridatos.

Esto ayudará a que el sistema se adapte de manera más sencilla a variaciones provocadas por los ensayos.

## **3.2. PREPARATIVA Y VALIDACIÓN**

En este apartado se realiza una descripción del proceso que se siguió con el fin de obtener los paneles, que posteriormente se utilizaron en la realización de los ensayos.

### **3.2.1. Preparativa de las bases de color**

Cabe recordar que sólo hubo que fabricar las tres bases de color escogidas con antelación, ya que los otros dos componentes del sistema, imprimación y barniz, se obtuvieron como producto acabado en fábrica.

El procedimiento que se describe a continuación, es homólogo para las tres bases:

- a) Se utilizará un agitador de tipo cowles dada la cantidad de base de color que se va a fabricar y así favorecer la dispersión de los distintos componentes. En nuestro caso 10 kg.
- b) Previo al uso del agitador, se debe asegurar la limpieza de este evitando así la contaminación de la base de color.
- c) Realizar agitación mecánica de todas las materias primas sin excepción, asegurando así su homogeneidad.
- d) Asegurar el contenedor donde se dispondrá la base de color mediante anclajes y con una toma a tierra descargando así la posible carga estática que existiese. Este último punto es de gran importancia ya que evita el riesgo de explosión.
- e) Mediante el procedimiento que se facilita en la ficha técnica de la base de color, añadir por el orden indicado y en agitación continua la cantidad necesaria de cada materia prima. Es aconsejable no añadir toda la cantidad del disolvente mayoritario para facilitar el posterior ajuste de viscosidad de origen.
- f) Ajustar la viscosidad de origen mediante copa de viscosidad. Mediante la copa estipulada en la ficha técnica, medir la viscosidad del producto a la

temperatura indicada. Corregir la viscosidad mediante el disolvente mayoritario en formula. Anotar la viscosidad de origen final.

- g) Ajustar la viscosidad de aplicación. Esta es la viscosidad que deberá tener la base de color en el momento de la aplicación. La ficha técnica proporciona un intervalo en tanto por ciento en masa del disolvente de aplicación y la medida de tiempo en segundos que es representativa de la viscosidad medida con una copa de viscosidad y temperatura concretas. Anotar el tanto por ciento en masa de disolvente que corresponde a la medida en segundos requerida. Este paso también se realizará para la imprimación y el barniz obtenidos en fábrica.

### **3.2.2. Validación del sistema de ensayo**

Previo a la definitiva aplicación de los paneles de ensayo, se realiza una validación de los componentes que forman nuestro sistema. Para validar los componentes se sigue el siguiente proceso:

- a) En primer lugar se analiza la adherencia entre el sustrato y la imprimación. Para ello se flamea<sup>1</sup> el panel de polipropileno y posteriormente se imprima<sup>2</sup>. Se analiza la adherencia a través del ensayo de adherencia por cuadrícula<sup>3</sup>.
- b) Análisis de la adherencia del sistema. En este punto, teniendo tres paneles de polipropileno correctamente imprimados, se procede a aplicar en cada uno una base de color distinta de entre las tres que hemos escogido y sobre las bases de color el barniz. Realizado un envejecimiento acelerado en estufa para asegurar un correcto entrelazado polimérico entre las distintas capas, se analiza la adherencia. En este caso se realiza una adherencia por cuadrícula y adherencia por lavado a alta presión<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> El proceso de flameado se describe en el apartado 3.2.3.1.

<sup>2</sup> El proceso de imprimación se describe en el apartado 3.2.3.2.

<sup>3</sup> Adherencia por cuadrícula en apartado 4.3.1.

<sup>4</sup> Adherencia por lavado a alta presión en apartado 4.3.2.

Tras realizar los ensayos, se obtienen datos de adherencia positivos lo cual nos indica que los componentes del sistema se encuentran en buenas condiciones. El paso siguiente será obtener los paneles que utilizaremos en los ensayos.

### 3.2.3. Obtención de paneles de ensayo comparativos

En este apartado se describe cada uno de los pasos que componen el proceso de obtención de nuestros paneles de ensayo.

#### 3.2.3.1. Flameado

El primer problema que se nos presenta es obtener una buena adherencia entre la imprimación y el sustrato. La imprimación deberá “mojar” la superficie del sustrato. Para medir numéricamente la facilidad de mojado de una superficie se utiliza la tensión superficial crítica de esta. Para que una pintura, en este caso la imprimación, moje la superficie deberá tener una tensión superficial igual o inferior a la tensión crítica del sólido. Generalmente los plásticos de poliolefina, como el polipropileno, tienen valores de tensión superficial crítica muy bajos. Para aumentar estos valores repercutiendo directamente sobre la mojabilidad del sustrato, se lleva a cabo un proceso oxidativo de la superficie llamado flameado que crea grupos polares y una energía superficial más alta.

La figura 1 corresponde a una imagen de la llama del flameador y el correspondiente cuadro de mandos.



Figura 1. Flameador proporcionado por AkzoNobel

Los parámetros modificables de los cuales se disponen son:

- a) Relación aire:propano
- b) Velocidad de pasada por la llama

### c) Número de pasadas

Utilizando un panel del lote de inyección que utilizaremos en todos los casos, obtendremos las condiciones de flameado que corresponden a una tensión superficial del sustrato alrededor de  $50 \text{ N/cm}^2$ , establecida como óptima para un buen imprimado. El primer paso es desengrasar la superficie del sustrato con isopropanol para así retirar cualquier resto de suciedad o grasa que pueda existir. Fijando una relación de aire:propano y una velocidad de la cinta, se realiza una pasada del panel y se comprueba la tensión superficial con un medidor de tinta equivalente a  $50 \text{ mJ/m}^2$ . Si se rompe la trayectoria del medidor de tinta, significa que la tensión superficial del sustrato es menor a la requerida y por tanto se deberá dar otra pasada por la llama. En concreto para nuestro lote de paneles inyectados la relación aire:propano es 28:1, con una velocidad 4 de la cinta y 2 pasadas.

Estas condiciones de flameado servirán para el posterior flameado de los paneles de ensayo, ya que todos ellos forman parte del mismo lote de inyección. Debe hacerse notar, que tras el flameado de los paneles de ensayo la imprimación debe aplicarse en un periodo máximo de 30 minutos.

#### 3.2.3.2. *Aplicación de las distintas capas de pintura*

El proceso de aplicación se llevará a cabo con un sistema aerográfico y robotizado. Este sistema se basa en la creación de una nube de pulverización que se proyecta sobre la superficie de un soporte mediante aire comprimido. La mezcla de pintura diluida y aire comprimido se proyecta a través de una boquilla provocando su atomización. Las condiciones de temperatura y humedad relativa deben estar alrededor de  $22^\circ\text{C}$  y 55% respectivamente. Como los paneles deberán ser comparativos, se realizará la aplicación el mismo día y así minimizar diferencias entre paneles.

Cada capa de pintura; imprimación, bases de color y barniz; requieren un espesor óptimo de aplicación. Cada uno de nuestros productos tiene asignado un programa de pintado introducido en la consola del sistema robotizado, que proporcionará el espesor necesario. Para asegurarnos, se realizará una aplicación previa de cada componente del sistema sobre placas de coil<sup>5</sup> y se comprobará que el espesor sea el correcto.

---

<sup>5</sup> Placas metálicas recubiertas con un revestimiento especial, para realizar pruebas de espesor.

Cada una de las partes que componen el proceso de aplicación, se describen a continuación:

- a) Tras el flameado de los paneles, se deberá aplicar la imprimación. Al tratarse de un sistema de pintura 2-K<sup>6</sup>, un componente endurecedor especificado en la ficha técnica deberá ser mezclado con la imprimación diluida momentos antes de su aplicación.
- b) Tras la aplicación, se deja un tiempo de secado físico (o flash-off) a temperatura ambiente.
- c) Posteriormente los paneles se estufan durante un tiempo de 30 minutos a 80°C.
- d) Sobre los paneles imprimados, se aplica la base de color diluida correspondiente.
- e) Seguidamente se procede al tiempo de flash-off. En nuestro caso este tiempo se aumenta en 5 minutos respecto al definido como óptimo. La razón de este proceder es perjudicar la adherencia entre la base de color y el barniz ya que partimos de un sistema que cumple las especificaciones de las distintas OEM's, lo que significaría no obtener distinciones en los ensayos a realizar.
- f) Tras el tiempo de flash-off se aplica la capa de barniz, también de tecnología 2-K, y en este caso se respeta el tiempo de flash-off definido como óptimo para este barniz.
- g) Por último se estufan los paneles 30 minutos a 80°C.

---

<sup>6</sup> Se basa en resinas con grupos reactivos que polimerizan por poliadición al mezclarse entre ellas.

### 3.2.3.3. *Envejecimiento*

Como último paso previo a la utilización de los paneles, éstos deberán permanecer una semana a temperatura ambiente. Este paso se realiza debido a que el total entrecruzamiento que se produce entre las capas que forman el sistema, y que proporcionará la adherencia entre ellas, se produce pasado unos días desde la aplicación.

## 4. DESARROLLO DE UNA MATRIZ INICIAL DE ENSAYOS

A partir de este punto se analizarán las especificaciones actuales para revestimientos en piezas plásticas de las 12 OEM's nombradas con anterioridad. Con el fin de no desvelar información confidencial de ninguna de las compañías y por otro lado no desmerecer abiertamente la metodología de sus ensayos y su validez, de ahora en adelante de forma aleatoria se asignará a cada OEM una numeración y así evitar nombrarlas de forma directa.

Tras la lectura de las especificaciones de cada OEM, se realiza un listado de los ensayos y pruebas que se requieren para validar un revestimiento. Se observa entonces, que existe un gran número de ensayos coincidentes entre las especificaciones. Es decir que analizan la misma propiedad o resistencia bajo un mismo efecto, variando la metodología y/o las condiciones del ensayo. Con el fin de ilustrar con más facilidad los ensayos comunes entre OEM's, se desarrolla una matriz primaria la cual permite:

- a) Observar que ensayos requiere cada OEM, sin la necesidad de hacer uso de la especificación correspondiente.
- b) Por otro lado, muestra las coincidencias entre OEM's y el grado de repetitividad de los ensayos.

Como se puede observar en ésta matriz primaria, correspondiente a la tabla 3 contenida en el apéndice 1, el número de ensayos es muy alto considerando el tiempo experimental del que disponemos. Es por ello que en los puntos siguientes se realiza una selección de estos, obteniendo así una matriz inicial de ensayos la cual se utilizará en la fase experimental.

#### **4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN**

En este apartado se citan los criterios utilizados para descartar ensayos de la matriz primaria. Los criterios utilizados son los siguientes:

- a) En primer lugar se descartan ensayos que requieren un periodo de tiempo muy elevado. Por ejemplo las simulaciones climáticas o envejecimientos por UV requieren una media de 700h de experimentación.
- b) Se eliminan ensayos que analizan aspectos físicos del revestimiento como el brillo o el espesor del film.
- c) Se descartan ensayos los cuales no estén presentes en un número elevado de OEM's.
- d) Dada la disponibilidad de material experimental y maquinaria también se descartan algunos ensayos.
- e) Criticidad. Ensayos que de inicio sabemos no pondrán en un gran compromiso al sistema, serán descartados ya que posiblemente no obtengamos diferencias en los resultados entre especificaciones.

En algunos casos se realizan excepciones dada la relevancia del ensayo o la criticidad que tiene sobre el sistema. Por ejemplo, se realiza sobre ciclos térmicos y resistencias químicas las cuales no son muy frecuentes en especificaciones pero su análisis es interesante para AkzoNobel.

Aplicando los criterios de selección sobre la matriz primaria se obtiene una matriz inicial de ensayos, correspondiente a la tabla 4 del apéndice 1, la cual nos sirve como guía en nuestro proceso experimental. En el apartado siguiente se ilustra de modo general la naturaleza de los ensayos.

#### **4.2. CLASIFICACIÓN POR BLOQUES TEMÁTICOS**

La función de este apartado será clasificar los ensayos según su naturaleza, es decir según la tipología de la agresión que se realiza sobre el sistema y la propiedad que analizan.

De la matriz inicial de ensayos obtenida se pueden destacar cuatro bloques temáticos:

- a) Ensayos que analizan la adherencia. En este bloque se incluye el ensayo de adherencia por cuadrícula y la adherencia por lavado a alta presión.
- b) Ensayos que analizan la resistencia al impacto múltiple. Este bloque se compone del ensayo de gravillonado.
- c) Simulaciones ambientales. Este bloque incluye distintas agresiones del sistema de pintura a partir de:
  - i. Humedad
  - ii. Inmersión en agua
  - iii. Ciclos térmicos

Tras el respectivo ensayo, se evalúa la adherencia del sistema tal y como indica cada especificación.

- d) Agresiones químicas. Estas evalúan la resistencia de la capa de barniz ante distintos tipos de agresiones las cuales podemos clasificar en:
  - i. Resistencia ante productos de servicio (líquido de frenos, aceite de motor, etc.)
  - ii. Resistencia ante productos ácidos y básicos.
  - iii. Resistencia ante ataques biológicos (insectos, excrementos de ave, etc.)

Lo que debe resaltar esta clasificación por bloques temáticos, es que principalmente se evaluará la adherencia del sistema. Por un lado se evalúa la adherencia inicial y posteriormente tras un seguido de simulaciones ambientales. Por ello ésta propiedad deberá tenerse muy en cuenta en el momento de desarrollar un nuevo producto. También se da importancia a la facilidad del sistema a absorber impactos, que en gran medida es gracias a la capa del barniz. Por último, se analiza el grado de protección que confiere el barniz al sistema.

### 4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

#### 4.3.1. Adherencia por cuadrícula

El ensayo de adherencia por cuadrícula, es un ensayo primordial en el análisis de la adherencia. Este se utiliza para evaluar la adherencia inicial de un sistema de pintura y también en casos posteriores a una simulación ambiental.

La adherencia por cuadrícula o crosshatch consiste en realizar sobre el sistema un patrón de rayado que profundice hasta el sustrato para posteriormente aplicar una cinta adhesiva que cubra la totalidad del patrón y retirar de manera súbita. Este hecho revela, si la adherencia entre las capas se ve debilitada ante daños en la estructura.

La metodología del ensayo es variable, existen cinco parámetros distintivos:

- a) Patrón de rayado. De entre las doce especificaciones distinguimos tres tipos de patrones. De modo ejemplificativo, en la figura 2 se muestran imágenes extraídas de distintos métodos de ensayo.

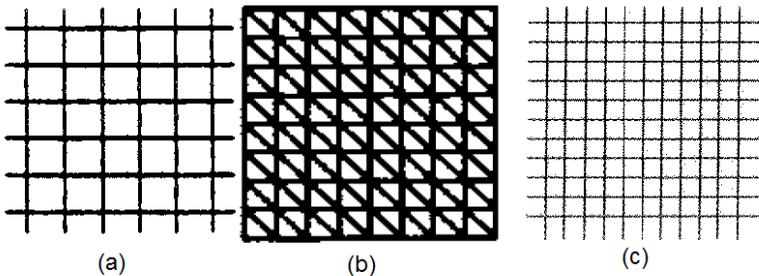


Figura 2. Patrones de rayado: (a) rayado de 25 secciones, (b) rayado de 64 secciones con trazo diagonal, (c) rayado de 100 secciones. (Imágenes extraídas de la ref. 3)

- b) Espaciado entre líneas. Entre las doce especificaciones existen tres espaciados, de 1mm, 2mm y 3mm.
- c) Tipo de cinta. Existen diversas cintas usadas en las doce especificaciones estudiadas. Éstas se diferencian básicamente por su poder de adhesión.
- d) Disposición de la cinta. Según la metodología se distinguen dos modos, ilustrados en la figura 3.

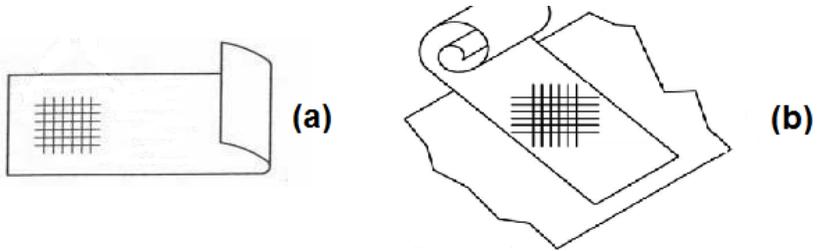


Figura 3. Disposición de la cinta: (a) paralela al patrón de rayado, (b) diagonal al patrón de rayado.

(Imágenes extraídas de la ref. 3)

- e) Ángulo de retirada de la cinta. Existen tres distintos, dos de los cuales se muestran en la figura 4.

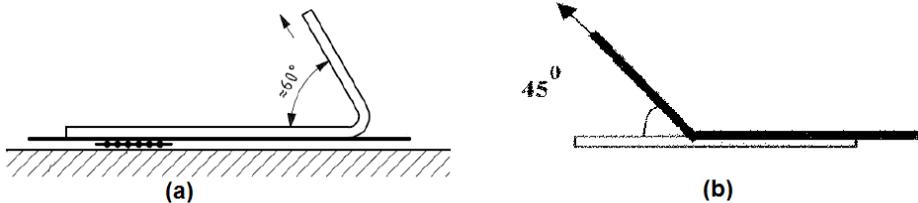


Figura 4. Ángulo de retirada de la cinta: (a) 60° según el ángulo que forma la cinta adhesiva, (b) 45° según el ángulo que forma la cinta adhesiva y el panel. (Imágenes extraídas de la ref. 3)

En la tabla 5 contenida en el apéndice 2, se realiza un resumen de las condiciones del ensayo de adherencia por cuadrícula para cada OEM. Se puede apreciar que en algunos casos existen coincidencias de metodología entre OEM's.

La evaluación de la adherencia corresponde a valores porcentuales de área desprendida, considerando únicamente el área contenida por el patrón de rayado. Según el porcentaje de área desprendida cada OEM realiza un ranking o graduación. Por último según la especificación vigente de cada OEM, se toma un límite porcentual de área desprendida.

#### 4.3.2. Adherencia por lavado a alta presión

Este ensayo nos permite analizar el grado de adherencia del sistema ante la agresión de agua a alta presión, tras la realización de una marca que penetra hasta el sustrato. En el caso de que supere el test, asegura en gran medida la persistencia del revestimiento en las piezas de automoción tras la cantidad elevada de lavados en la vida útil del automóvil.

La adherencia por lavado a alta presión o high pressure cleaning, consiste en realizar sobre el sistema un defecto y posteriormente aplicar sobre él un chorro de agua a alta presión en forma de abanico durante el tiempo especificado.

Los parámetros que rigen este ensayo son los siguientes:

- a) Tipo de defecto. En todos los casos se realiza una marca que daña el conjunto del sistema y agrava el efecto del chorro de agua a alta presión.

En la figura 5 se presentan algunos de estos defectos.

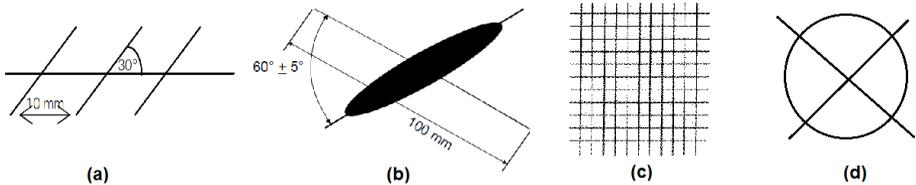


Figura 5. Defecto: (a) correspondiente a OEM 10, (b) ejemplifica la cruz de San Andrés común en varias OEM's, (c) correspondiente a OEM 5, (d) correspondiente a OEM 8. (Imágenes extraídas de la ref. 3)

- b) Presión. El rango de presiones de entre las OEM's que requieren este ensayo se comprende entre 60 y 120 bar.
- c) Temperatura. El rango de temperaturas de entre las OEM's que requieren este ensayo se comprende entre 25 y 80 °C.
- d) Tiempo de operación. De manera generalizada el tiempo de exposición del sistema ante el chorro a alta presión es de 30 o 60 segundos.
- e) Distancia. Se trata de la distancia medida perpendicularmente respecto a la superficie del revestimiento hasta el orificio de salida del chorro a presión. En la mayoría de los casos es de 100 mm.
- f) Ángulo de incisión. Se trata del ángulo con el que se hace incidir el chorro contra la superficie del revestimiento. Generalmente de 90°.
- g) Boquilla. Se distinguen tres tipos de boquillas, cada una de estas proporciona un patrón característico del abanico del chorro.
- h) Posición. Ésta puede ser fija en una misma zona del defecto o móvil realizando un barrido sobre la zona afectada.

En la tabla 6, contenida en el apéndice 2, se dispone de un resumen de las condiciones que caracterizan la metodología de cada OEM. En este caso al ser tan alto el número de parámetros que afectan el ensayo, en ninguno de los casos el proceder es el mismo.

La maquina utilizada para llevar a cabo los ensayos es la que se muestra en la figura 6, la cual permite fijar la temperatura, presión y tiempo de operación mediante un software incorporado. Los parámetro como el ángulo de incisión, distancia o el ajuste del chorro de agua sobre el defecto deben realizarse de forma manual.

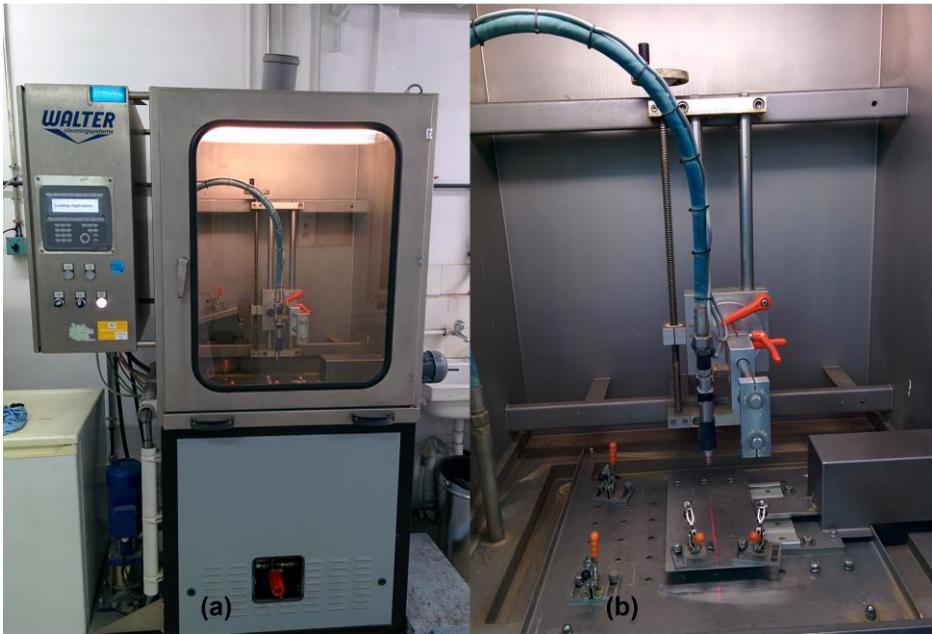


Figura 6. Sistema Walter de lavado a alta presión: (a) vista general, (b) vista interior.

La evaluación de la adherencia por lavado a alta presión de manera generalizada se evalúa según la delaminación de las capas que forman el sistema de pintura y el área desprendida.

#### 4.3.3. Gravillonado

El siguiente ensayo nos permite hacer un análisis de la adaptación y robustez del sistema ante múltiples impactos de pequeño calibre. Es importante que se comporte de manera

aceptable ya que existen zonas del automóvil donde la frecuencia a soportar pequeños impactos es elevada durante toda su vida útil.

La ejecución del ensayo consiste en la exposición del revestimiento a múltiples impactos a alta velocidad producidos por una masa de grava o esquirla metálica. La alimentación del material se realiza mediante una tolva vibratoria, incorporada en la maquinaria proporcionada por AkzoNobel, la cual deberá calibrarse según el tiempo de alimentación requerido. Los impactos producidos se generan a partir de una corriente de aire a presión. Existe una excepción a este procedimiento generalizado en el cual se realizan 10 lanzamientos de modo controlado sobre el revestimiento, utilizando unos proyectiles concretamente diseñados por la OEM 6. La figura 7 muestra imágenes de la máquina proporcionada por AkzoNobel para realizar los gravillonados convencionales.

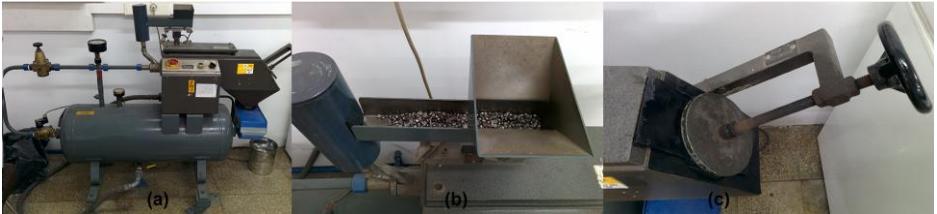


Figura 7. Gravillonado: (a) vista general, (b) tolva vibratoria, (c) soporte para los paneles

Los parámetros que definen la metodología general del gravillonado son:

- a) Tiempo de alimentación. Es el tiempo requerido para alimentar la totalidad de la masa que deberá impactar sobre el revestimiento..
- b) Tipo de proyectil. Existen 2 tipos, un tipo de grava de río y unas esquirlas de hierro.
- c) Diámetro del proyectil. De nueve a dieciséis milímetros correspondiente a la grava y de cuatro a cinco milímetros si se trata de esquirlas de hierro.
- d) Masa.
- e) Presión de aire. Ésta confiere más velocidad a los proyectiles y por tanto más facilidad de provocar daños en las distintas capas del revestimiento.
- f) Número de ejecuciones. En algunos casos se realiza un primer gravillonado, seguido de una inmersión en un baño de agua por un tiempo definido, y finalmente se realiza un segundo gravillonado.

Las condiciones definidas por cada OEM se muestran en la tabla 7 contenida en el apéndice 2.

La evaluación del ensayo de gravillonado, se realiza mediante fotografías comparativas, como la que se muestra en la figura 8, proporcionadas en cada método experimental, por lo tanto es una evaluación de carácter subjetivo. En el caso de la OEM 6 se realiza una inspección microscópica de los diez impactos realizados para evaluar la zona dañada. Cada una de las OEM dispone de una clasificación diferenciada, y asigna según la especificación vigente un mínimo de exigencia.

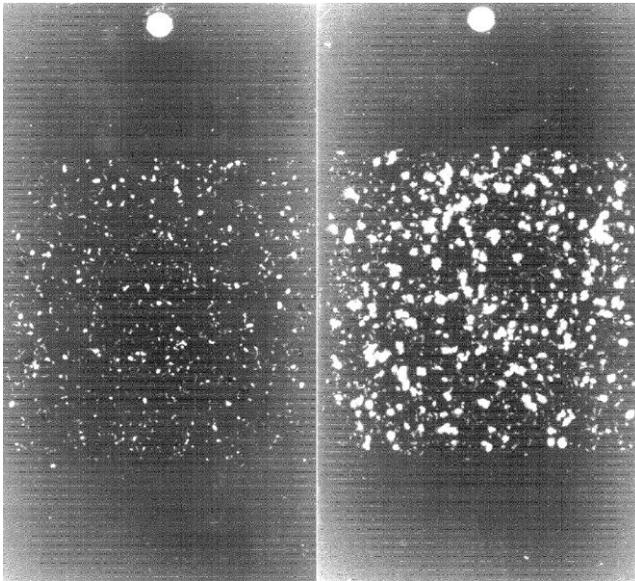


Figura 8. Fotografía comparativa para la evaluación del gravillonado correspondiente a la OEM 4.

(Imágenes extraídas de la ref. 3)

#### **4.3.4. Ensayo en cámara de humedad**

Este ensayo proporciona una visión del comportamiento del revestimiento ante una atmósfera húmeda que provoca condensación sobre él. Se analizará posteriormente la repercusión que tiene éste ensayo sobre la adherencia entre las capas.

El ensayo en cámara de humedad consiste en la exposición continuada del revestimiento ante la condensación de agua desionizada sobre él, durante un tiempo y temperatura ambiente

especificado según cada OEM. Ésta atmósfera condensada se consigue mediante una cámara convenientemente aislada, con agua desionizada en la base calentada mediante una resistencia y así proporcionar la temperatura del agua requerida y la creación de vapor que condensa sobre la superficie del panel. Una imagen de la cámara de humedad se muestra en la figura 9.



Figura 9. Cámara de humedad.

Los parámetros que rigen la metodología del ensayo son:

- a) Temperatura. Es la temperatura requerida por cada OEM, que debe alcanzar el agua de la base en la cámara de humedad.
- b) Humedad Relativa. En todos los casos se debe asegurar la condensación sobre el revestimiento, por lo tanto debe ser del 100 %.
- c) Tiempo. Medido en horas, es el tiempo el cual el revestimiento debe ser sometido a ensayo.
- d) Posición. Hace referencia al posicionamiento del panel en el interior de la cámara de humedad. En la mayoría de los casos el panel queda suspendido, por otro lado existen OEM que requieren un posicionamiento en forma de techo con el revestimiento direccionado hacia la base de la cámara de humedad.

- e) Acondicionamiento. Tras la finalización del ensayo, es el tiempo de recuperación del sistema previo al análisis de adherencia mediante los ensayos que requiera cada especificación.

Las condiciones de los ensayos correspondientes a las OEM's analizadas, se resume en la tabla 8 contenida en el apéndice 2. Muchas de las OEM's coinciden en la metodología, aunque la variabilidad entre ellas viene determinada por el acondicionamiento permitido.

Se evalúan los resultado de los ensayos de adherencia requeridos tras el acondicionamiento, y como en los casos anteriores existen unos mínimos de exigencia prescritos por las especificación vigente.

#### **4.3.5. Ensayo por inmersión**

El presente ensayo analiza el comportamiento del sistema ante el contacto continuado con agua. Como en el caso anterior, se analiza el efecto sobre la adherencia entre capas.

El ensayo por inmersión consiste en sumergir de modo continuado el panel revestido con nuestro sistema de pintura, en un baño termostático a una temperatura especificada por la OEM.

Los parámetros distintivos del ensayo son:

- a) Temperatura. Se fija la temperatura del agua durante el transcurso del ensayo.
- b) Tiempo. Medido en horas, es el tiempo total de inmersión del panel.
- c) Recipiente. Debido a lo especificado en cada método de ensayo, el recipiente donde se realiza la inmersión debe constar de sistema de agitación, aireación o estar sellado.
- d) Posicionamiento. En algunos casos la inmersión debe ser total, en otros debe realizarse mediante un soporte. Estas variables hacen que el efecto del ensayo sea variable.
- e) Acondicionamiento. Posterior al ensayo, transcurre un tiempo de acondicionamiento para permitir recuperar solidez al sistema y recuperar así adherencia entre capas.

La tabla 9 contenida en el apéndice 2, contiene un resumen de las condiciones de los distintos ensayos por inmersión.

La figura 10 muestra imágenes de los distintos baños termostáticos utilizados.



Figura 10. Baños termostáticos: (a) sin agitación, (b) con agitación.

#### 4.3.6. Ensayos por ciclos térmicos

Analiza la robustez del sistema ante cambios de temperatura cíclicos. Nos da una idea de la resistencia al estrés térmico que soportará durante su vida útil en un automóvil.

Este tipo de ensayo consiste en someter a nuestro sistema de ensayo a cambios de temperatura bruscos, también en algunos casos a cambios de humedad, que provoquen sobre el sistema estrés estructural.

Existen dos tipos que se describirán a continuación, ambos están definidos por los siguientes parámetros:

- a) Ciclo. Dependiendo de las características del ciclo, su efecto será más dañino para el sistema. A modo de ejemplo, existen ciclos los cuales contienen acondicionamientos a temperatura ambiente entre las distintas etapas, frente a otros que realizan los cambios de etapa de modo continuado.
- b) Número de ciclos. La repetición de los ciclos supone mayor número de cambios de condiciones que soporta el sistema.
- c) Acondicionamiento.

Un resumen de las condiciones de ambos ciclos se muestra en las tablas 10 y 11 contenidas en el apéndice 2.

#### 4.3.6.1. *Climáticos*

Llamados ciclos climáticos aquellos que contienen un periodo en cámara de humedad, incluido a los periodos a temperaturas bajas y altas. Como en la totalidad de las simulaciones ambientales anteriores, se realizará posteriormente los ensayos pertinentes para evaluar la adherencia del sistema.

#### 4.3.6.2. *Shock térmico*

Denominados shock térmico, a aquellas simulaciones ambientales provocadas por cambios de temperatura bruscos realizados de manera cíclica. Posterior al ensayo se evalúa la adherencia del sistema.

### 4.3.7. **Resistencias químicas**

En este apartado se evalúa la resistencia del sistema ante agresiones químicas externas. Por tanto al ser el barniz la capa exterior, se evalúan únicamente sus propiedades.

De la totalidad de elementos existentes en todas las especificaciones, realizando una selección de los más comunes entre OEM's y también abarcando grupos temáticos, se estudian los siguientes casos:

- a) Productos de servicio. Son aquellos utilizados de algún modo en el automóvil y por ello podrían entrar en contacto con el barniz. Concretamente se realiza el estudio de:
  - i. Aceite de motor
  - ii. Fluido de frenos
  - iii. Líquido anticongelante
  - iv. Líquido limpiaparabrisas
- b) Productos de pH diferenciado. Se estudia la resistencia del barniz ante ataques ácidos, básicos y neutros (agua desionizada).
- c) Productos biológicos. Se utilizarán mezclas de productos químicos que simulan agresiones naturales. Concretamente se realiza la simulación de:

- i. Excremento de ave
- ii. Insectos
- iii. Resina de árbol

Respecto a la metodología de los ensayos, los parámetros que se distinguen son:

- a) Contacto. Se refiere al modo de interacción entre el producto y el barniz. En nuestro caso en forma de gota o utilizando un material absorbente que lo contenga.
- b) Temperatura. En ocasiones el ensayo se realiza a temperatura más elevada que la ambiental según lo especifique la OEM.
- c) Tiempo. La aplicación del producto sobre el barniz perdura un tiempo especificado.

Las condiciones de ensayo de las resistencias químicas de cada OEM se resumen de la tabla 12 a la 21 del apéndice 2.

En este ensayo en concreto, los efectos de los productos sobre el barniz son evaluados mediante la vista. Se analiza si se han producido defectos como; hinchazón, descoloramiento, grietas; también se tendrá en cuenta si la integridad estructural del barniz se ha visto afectada.

## **5. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS**

### **5.1. ADHERENCIA POR CUADRÍCULA**

Dada la facilidad e inmediatez del ensayo de adherencia por cuadrícula, se realizó cada uno de los métodos de ensayo por triplicado y en distintos paneles para así verificar que los resultados obtenidos no estuviesen sujetos a una mala praxis o a un panel en mal estado.

Tras la aplicación de los ensayos, nuestro sistema permite extraer un resultado de severidad ya que en todos los métodos el área desprendida es del 0%. Por ello no definimos ningún método de ensayo como preferible para la validación de un nuevo producto. No

obstante, al observar la igualdad entre las metodologías, se podría considerar realizar el ensayo que requiera menor tiempo y esfuerzo.

Considerado lo anterior, el método de las OEM's que realiza un patrón de 25 secciones realizado con una herramienta de cuchilla múltiple con el espaciado necesario, sería una opción aconsejable en la validación de la adherencia por cuadrícula de un nuevo producto.

## 5.2. ADHERENCIA POR LAVADO A ALTA PRESIÓN

Utilizando la misma justificación que para el caso de la adherencia por cuadrícula, se realiza cada método de ensayo por triplicado y en distintos paneles.

Tras la evaluación de los resultados según la respectiva especificación, 4 OEM's no cumplen especificación y por tanto las definiremos como severas. Para discriminar entre ellas se analiza el área desprendida y las capas del sistema que han sido dañadas.

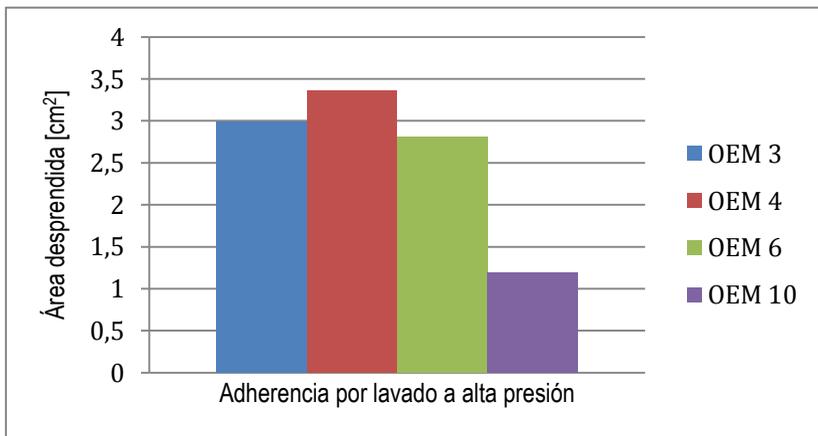


Figura 11. Comparativa de resultados OEM's 3, 4, 6, 10.

La figura 11 muestra el promedio de área desprendida en la realización de los ensayos. Como se puede observar el método de ensayo de la OEM 10 se puede descartar de forma directa debido a que su área desprendida es mucho menor que las demás OEM's. Aunque el área desprendida de las otras tres OEM's no muestra una diferencia clara, debe resaltarse que únicamente en el caso de la OEM 4 han sido desprendidas tanto la capa de barniz como la base de color dejando al descubierto la imprimación. Los defectos producidos se muestran en la figura 12, la cual corresponde al ensayo de las 4 metodologías en un mismo panel.

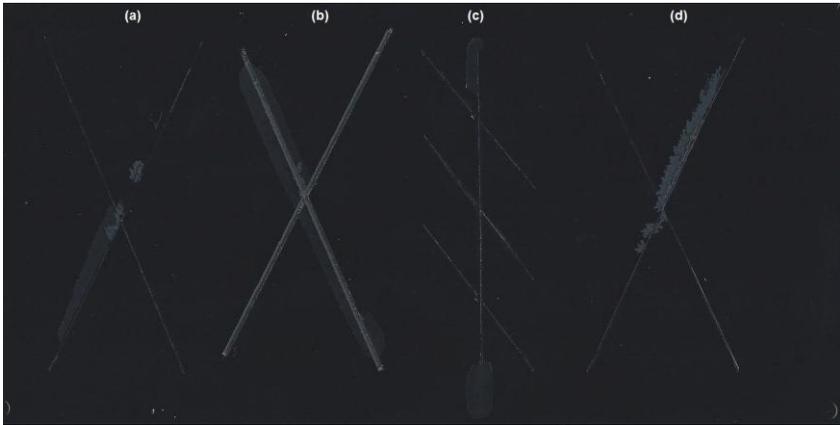


Figura 12. Adherencia por lavado a alta presión: (a) OEM 6, (b) OEM 3, (c) OEM 10, (d) OEM 4

Dicho esto, se puede establecer como un buen método de validación evaluar la adherencia por lavado a alta presión realizando las metodologías de las OEM's 3,4 y 6 en un mismo panel. Así estos 3 métodos pueden formar parte de la matriz genérica de ensayos.

### 5.3. GRAVILLONADO

En el caso de las OEM's 2, 3, 4, 9 y 10, la evaluación de los resultados del gravillonado se realiza mediante fotos comparativas proporcionadas en los métodos de ensayo, por lo tanto la graduación del daño producido es subjetiva. Tras el análisis de los paneles ensayados, éstos superan el límite prescrito por cada especificación y por tanto se cumple satisfactoriamente lo requerido por todas las OEM's. En las figuras siguientes, se muestra de derecha a izquierda el panel ensayado y el grado de daño asignado respectivamente.

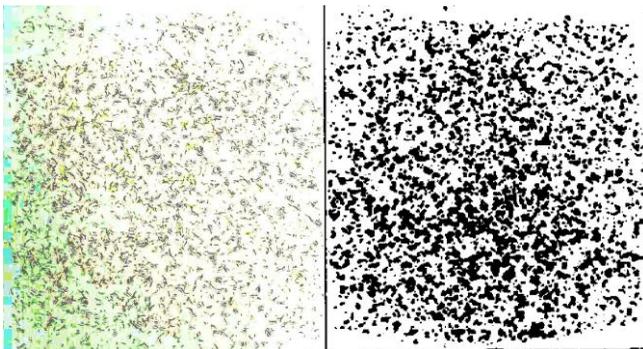


Figura 13. Comparativa gravillonado OEM 2. (Imágenes extraídas de la ref. 3)

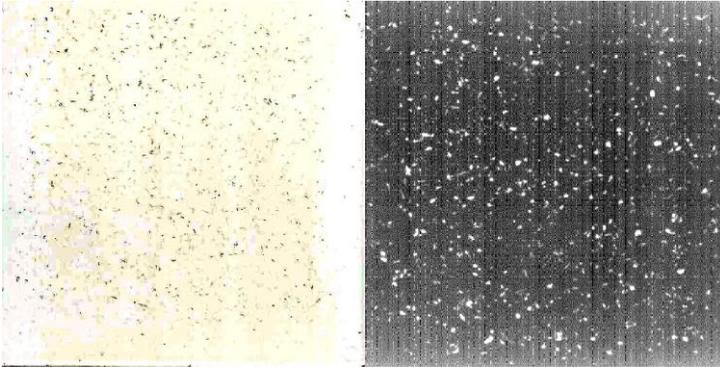


Figura 14. Comparativa gravillonado OEM 4. (Imágenes extraídas de la ref. 3)

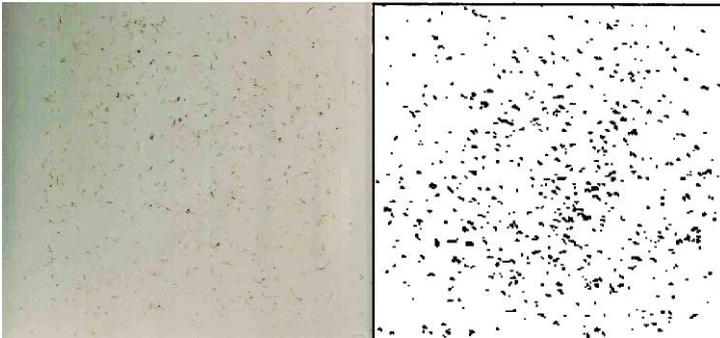


Figura 15. Comparativa gravillonado OEM 10. (Imágenes extraídas de la ref. 3)

Respecto a las OEM's 5, 6 y 8, la evaluación se realiza mediante la medición de los impactos y las capas dañadas, asignándose una graduación especificada. En los 3 casos, se cumplen las especificaciones satisfactoriamente. La figura 15, muestra el defecto provocado en las distintas capas del sistema.

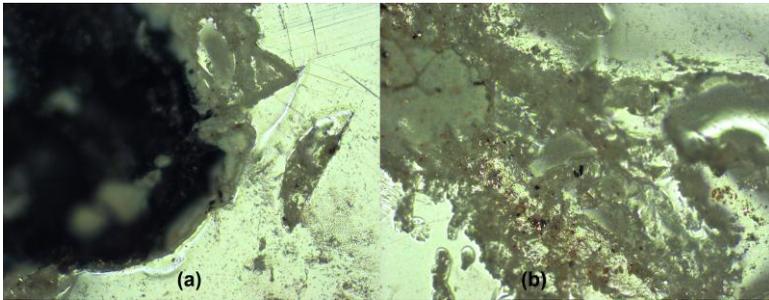


Figura 16. Defectos post-gravillonado: (a) impacto hasta la imprimación, (b) impacto absorbido por el barniz.

Debido a que tras la realización de los ensayos nuestro sistema no proporciona valoraciones de carácter negativo respecto a las especificaciones, no se puede definir ningún método de ensayo como el más restrictivo. No obstante, si consideramos como dato de severidad la cercanía al límite que prescribe la especificación, el caso de la OEM 2 se podría establecer como método que formaría parte de la matriz genérica de ensayos.

#### **5.4. ENSAYO EN CÁMARA DE HUMEDAD**

Dado el tiempo que requieren los ensayos y la disponibilidad de la cámara de humedad, se realizó una única prueba de cada método de ensayo.

Tras los ensayos en cámara de humedad y la realización de las pruebas requeridas por cada especificación, se obtiene que las OEM's 3, 5 y 9 no cumplen los requisitos mínimos. Con el fin de realizar una selección, en primer lugar comparamos los resultados de las OEM's 3 y 5. Éstas evalúan el sistema a través del ensayo de adherencia por cuadrícula, por ello se realizará una comparativa del porcentaje de área desprendida. La figura 17 muestra el porcentaje de área desprendida para cada OEM.

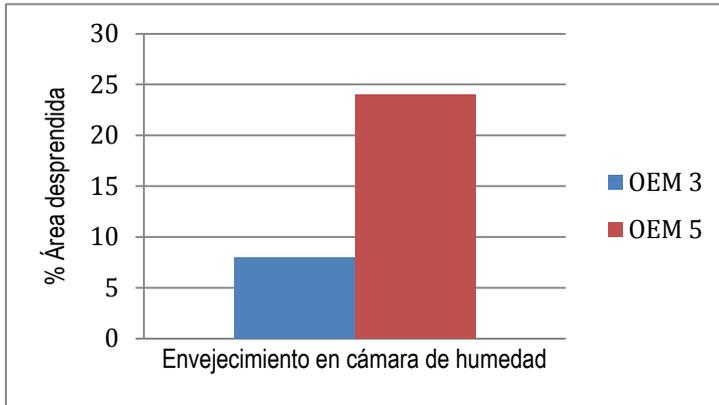


Figura 17. Comparativa de resultados OEM's 3 y 5.

Debido a que el límite de área porcentaje en los dos casos es el mismo y cómo el área desprendida en el caso de la OEM 5 es tres veces mayor respecto a la OEM 3, descartamos ésta última.

De esta situación, conociendo que las condiciones del ensayo en cámara de humedad y el tiempo de espera previo al ensayo de adherencia son iguales, se puede definir que el método de adherencia por cuadrícula correspondiente a la OEM 5 es más severo ya que es el factor que provoca la diferencia en el área desprendida. Por tanto aunque de los ensayos realizados en el apartado 5.1. no se pudieron extraer conclusiones de severidad, tras el ensayo en cámara de humedad podemos asegurar que la adherencia por cuadrícula correspondiente a la OEM 5 es la más severa para la validación de un nuevo producto.

Por otro lado la OEM 9 requiere el análisis de la adherencia a través de cuadrícula y por lavado a alta presión. Tras el acondicionamiento de 24 horas, el área desprendida por la adherencia por cuadrícula es del 0 %. En el caso del lavado a alta presión, la capa de barniz sufre daños dejando al descubierto la base de color. Como se muestra en la figura 18, las capas de barniz y base de color han sido dañadas en el caso de la OEM 5. Dado que las condiciones del ensayo en cámara de humedad de las OEM's 5 y 9 son idénticas, permite analizar en un mismo panel la adherencia del sistema tal y como se muestra en la figura 18 asegurando así una validación genérica del sistema. Por ello los métodos correspondientes a las OEM's 5 y 9 formarán parte de la matriz genérica de ensayos.

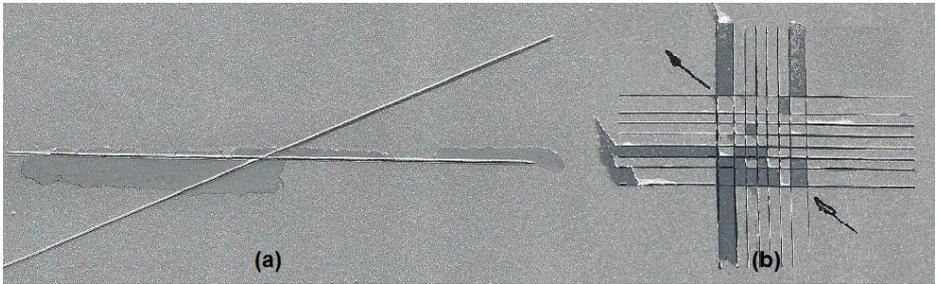


Figura 18. Análisis de la adherencia tras el correspondiente ensayo en cámara de humedad:

(a) OEM 9, (b) OEM 5.

## 5.5. ENSAYO POR INMERSIÓN

Tras realizar los distintos ensayos por inmersión utilizando paneles aplicados con base de color blanca, nuestro sistema no se ve alterado dando como resultado un 0% de área desprendida en todos los casos. Por ello no podemos discernir cual de las metodologías es más severa.

## 5.6. CICLOS CLIMÁTICOS

Tras la realización de los ciclos climáticos utilizando en este caso paneles aplicados con base de color metalizada, se obtiene como resultado que las OEM's 2 y 5 no cumplen especificación dado que el porcentaje de área desprendida es mayor que el límite que prescribe cada OEM.

Con el fin de seleccionar un método de ensayo como el más severo, se analiza el área desprendida provocada por el ensayo de adherencia por cuadrícula que requiere cada OEM. La figura 19 muestra el porcentaje de área desprendida para cada OEM, en el caso de la OEM 5 un 32% frente al 23% de la OEM 2.

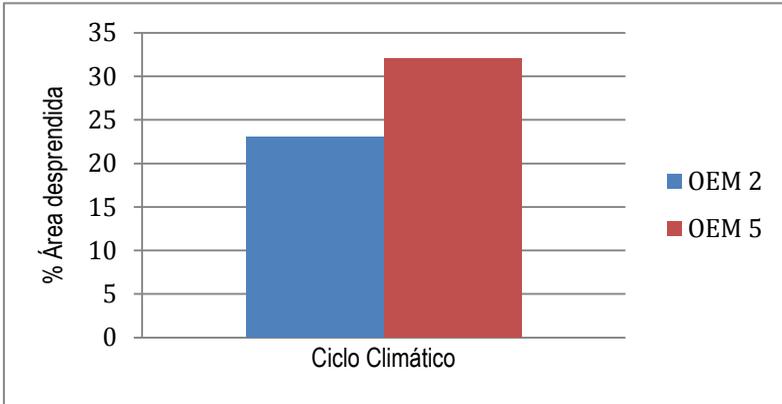


Figura 19. Comparativa de resultados OEM's 2 y 5

La figura 20 muestra el efecto de los ensayos sobre el sistema, cabe destacar que sólo en el caso de la OEM 5 se vio afectada tanto la capa de barniz como la base de color aunque en la imagen correspondiente a la OEM 2 se aprecie un contraste oscuro para resaltar las zonas afectadas.

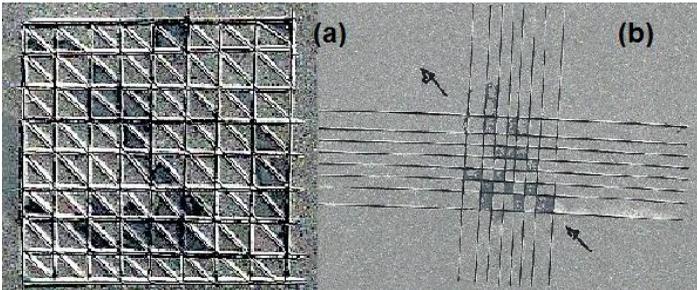


Figura 20. Efecto de los ensayos de adherencia por cuadrícula tras el correspondiente ciclo climático:

(a) OEM 2, (b) OEM 5.

Teniendo en cuenta que en el caso de la OEM 5 el porcentaje de área afectada es mayor y por otro lado el ensayo de adherencia perjudica tanto la capa de barniz como la base de color, se define el ciclo climático correspondiente a la OEM 5 como el más severo y por ello escogido para formar parte de la matriz genérica de ensayos.

### 5.7. CICLOS DE SHOCK TÉRMICO

Tras la realización de los ciclos de shock térmico, los métodos de ensayo correspondientes a las OEM's 3 y 9 no cumplen con la especificación ya que en ambos casos se provoca desprendimiento de alguna de las capas que forman el sistema. Como muestra la figura 21, el fallo se produce en el análisis de la adherencia por lavado a alta presión. Con el fin de determinar que ensayo produce más daño se determina el área desprendida, el resultado del cual se muestra en la figura 22.

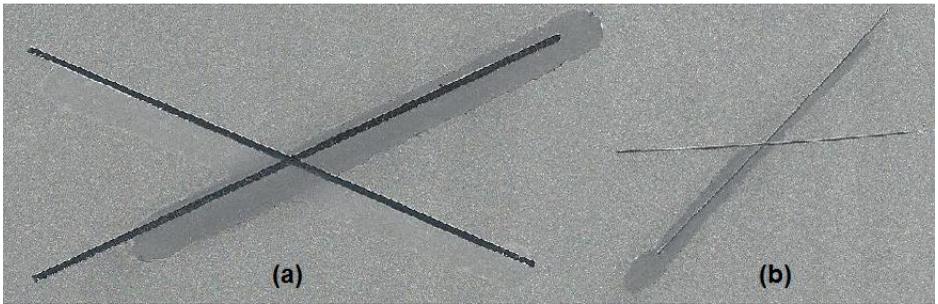


Figura 21. Efecto de los ensayos de adherencia por lavado a alta presión tras el correspondiente ciclo de shock térmico: (a) OEM 3, (b) OEM 9.

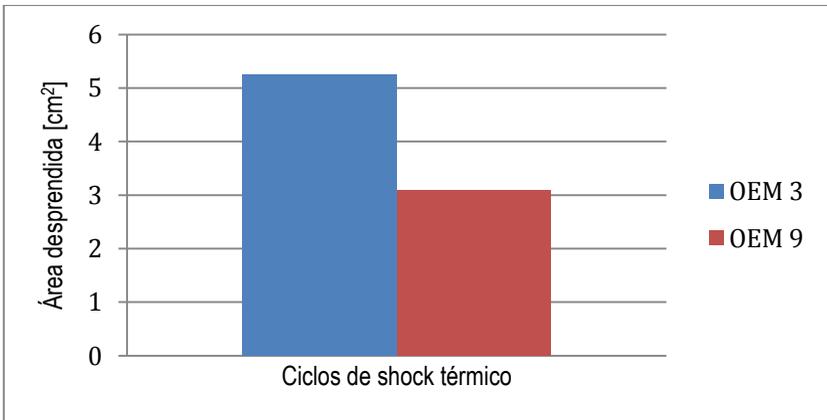


Figura 22. Comparativa de resultados OEM's 3 y 9

Dada que la diferencia de área desprendida entre OEM's no es muy grande y sabiendo que en ambos casos la especificación no permite desprendimiento de ninguna de las capas, se

tomarán ambos métodos de ensayo como severos. Por ello formarán parte de la matriz genérica de ensayos.

## **5.8. RESISTENCIAS QUÍMICAS**

Se realiza el análisis de severidad de cada producto por separado. En los productos químicos siguientes no se ha observado ningún tipo de efecto sobre la capa de barniz, y por ello se descartan como productos relevantes en la validación de las resistencias químicas del mismo:

- a) Aceite de motor
- b) Líquido anticongelante
- c) Líquido limpiaparabrisas
- d) Agua desionizada
- e) Bases (álcalis)

Por otro lado se han obtenido resultados de severidad de los siguientes productos:

- a) Líquido de frenos. Para el caso de las OEM's 8 y 9 se produce un leve ampollamiento en la capa de barniz que persiste tras 24 horas, lo que hace que no cumpla con la especificación. En este caso, aunque el efecto provocado y los límites prescritos son los mismos, en el caso de la OEM 9 el ensayo tiene una duración de 1 hora frente a las 24 horas de la OEM 8, lo que escoger el método correspondiente a la OEM 9 permite la validación de un nuevo producto en menor tiempo.
- b) Ácido. Los métodos de ensayo correspondientes a las OEM's 2 y 5 hacen que nuestro sistema no cumpla especificación. En ambos casos la zona de barniz en contacto con el ácido queda completamente dañada dejando al descubierto la base de color. Por otro lado el tiempo ensayo en ambos casos es de 30 minutos, por lo que no podemos discernir entre las dos metodologías.
- c) Simulación de excremento de ave. En el análisis de esta resistencia, solamente en el caso de la OEM 5 el resultado del ensayo no cumple

especificación. Se produce un cuarteado de la superficie del barniz, permitiéndose solamente un ligero contorno.

- d) Resina de árbol. Se obtienen dos resultados lo cuales no cumplen especificación, que corresponden a las OEM's 3 y 9. El efecto provocado sobre la capa de barniz nos permite discernir cual de los métodos es más severo. En el caso de la OEM 3 se produce una leve hinchazón, en cambio para el caso de la OEM 9 se produce también una zona de blanqueamiento que nos lleva a escoger como más severa ésta última.
- e) Insectos. Referente a esta resistencia, el método de ensayo correspondiente a la OEM 2 produce una hinchazón en la capa de barniz que no cumple con la especificación y por ello se define como el método de ensayo más severo



## 6. CONCLUSIONS

- After the bibliographic study, a primary assay matrix has been obtained, corresponding to table 3 in appendix 1, which allows seeing the common assays between 12 OEM's.
- Using criteria selections, the primary assay matrix has been reduced to another one, corresponding to table 4 in appendix 1, which contains all relevant assays needed to each OEM. This provides a tool that accelerates the task of finding the required assays to a validating process.
- Although our system, in a first stage, didn't provide a discriminatory result about which methodology of crosshatch was the most severe, after humidity chamber assay, the OEM 5 methodology will be defined as the most restrictive crosshatch method.
- Regarding the high pressure cleaning test, we can state that a temperature between 60 and 70°C combined with a fixed position of the water jet over the mark made, provides a severe methodology regardless of the nozzle type. Thus, methodologies of OEM's 3, 4 and 6 take part into the assay generic matrix.
- From the accumulated experience about the different ambient simulations, we can define as a controlling parameter, the time between performing the assay and analysing the adhesion properties. Depending on the time, the system experiences a recovery of his adhesion properties regarding the initial conditions.
- The use of a metallic basecoat increases the effect of different ambient simulations, due to the humidity goes into the clearcoat's layer most easily than when a solid basecoat is applied. Therefore, using a system compounded by a metallic basecoat makes easier to obtain a discriminatory result between several methodologies.
- Taking in account the results obtained in the chemical resistances section, the clearcoat's formulation should be focused on resist biological aggressions, acid attacks and service products like brake fluid.

- At this point, has been developed an assay generic matrix :

Crosshatch	High Pressure Cleaning Test	Stone-Chip	Humidity Chamber	Immersion	Climatic Cycle	Thermal Shock Cycle
OEM 5	OEM 3 OEM 4 OEM 6	OEM 2	OEM 5 OEM 9	/	OEM 5	OEM 3 OEM 9

Table 1. Assay generic matrix.

Brake Fluid	Acid	Bird Dropping	Tree resin	Insect simulation
OEM 9	OEM 2 OEM 5	OEM 5	OEM 9	OEM 2

Table 2. Assay generic matrix: Chemical Resistance.

## BIBLIOGRAFÍA

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. Porta, Eugenio. *Curso de Pintado de Elementos Plásticos*. Documentación interna de AkzoNobel. Barcelona: 2011.
3. *Métodos de ensayo*. Intranet AkzoNobel (descriptiva de 62 métodos)



# APÉNDICES



## APÉNDICE 1. MATRICES DE ENSAYO

Requerimientos	OEM 1	OEM 2	OEM 3	OEM 4	OEM 5	OEM 6	OEM 7	OEM 8	OEM 9	OEM 10	OEM 11	OEM 12
Brillo	X	X										
Espesor del film	X	X										
Dureza	X											
Adherencia por cuadrícula	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Adherencia por lavado a alta presión		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Perdida de adherencia debido al calor												
Test de rayado		X										X
Test de rayado por brochas de lavado	X	X				X		X		X		
Resistencia a la abrasión					X	X		X		X		X
Gravillonado												
Resistencia al impacto												X

Tabla 3. Matriz primaria de ensayos

Requerimientos	OEM 1	OEM 2	OEM 3	OEM 4	OEM 5	OEM 6	OEM 7	OEM 8	OEM 9	OEM 10	OEM 11	OEM 12
Reacción a la deformación	x				x			x		x	x	
Resistencia a la humedad	x	x	x	x	x			x		x	x	
Resistencia al agua	x	x	x	x		x	x					
Resistencia a los cambios de temperatura			x						x			
Resistencia a climas alternos	x	x	x		x				x			
Envejecimiento por calor		x	x			x		x			x	
Resistencia a las marcas							x				x	
Agresión ambiental acelerada	x		x	x	x	x	x		x			
Resistencia a UV	x			x								
Envejecimiento acelerado ante la luz								x				x

Tabla 3. Matriz primaria de ensayos (continuación)

Requerimientos	OEM 1	OEM 2	OEM 3	OEM 4	OEM 5	OEM 6	OEM 7	OEM 8	OEM 9	OEM 10	OEM 11	OEM 12
Test ambiente Florida		x	x	x			x		x	x		x
Test ambiente Kalahari		x	x				x		x			x
Resistencia a agresiones químicas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
- Combustibles	x		x		x			x	x	x	x	x
- Líquido limpiaparabrisas		x		x	x	x		x				x
- Líquido anticongelante		x		x	x			x	x			x
- Aceite de motor		x	x		x			x	x	x		x
- Líquido de frenos					x			x	x			
- Hollin									x			
- Alcohol	x											
- Disolventes volátiles			x	x						x	x	

Tabla 3. Matriz primaria de ensayos (continuación)

Requerimientos	OEM 1	OEM 2	OEM 3	OEM 4	OEM 5	OEM 6	OEM 7	OEM 8	OEM 9	OEM 10	OEM 11	OEM 12
- H2O		x					x					
- Ácidos		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
- Alcalis			x		x		x			x	x	x
- Insectos												x
- Resina										x		x
- Excremento de ave			x	x	x	x				x		

Tabla 3. Matriz primaria de ensayos (continuación)

Requerimientos	OEM 1	OEM 2	OEM 3	OEM 4	OEM 5	OEM 6	OEM 7	OEM 8	OEM 9	OEM 10	OEM 11	OEM 12
Adherencia por cuadrícula	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Adherencia por lavado a alta presión		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Gravillonado	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x
Resistencia a la humedad	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Resistencia al agua	x	x	x	x	x	x	x					x
Resistencia a los cambios de temperatura									x		x	x
Resistencia a climas alternos	x	x	x						x	x		
Resistencia a agresiones químicas	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
- Líquido limpiaparabrisas		x		x	x	x						
- Líquido anticongelante		x		x	x							

Tabla 4. Matriz inicial de ensayos

Requerimientos	OEM 1	OEM 2	OEM 3	OEM 4	OEM 5	OEM 6	OEM 7	OEM 8	OEM 9	OEM 10	OEM 11	OEM 12
- Aceite de motor		x			x			x	x			x
- Líquido de frenos					x			x	x			
- H2O			x		x		x					
- Ácidos			x	x	x		x	x				x
- Alcalis					x		x					x
- Insectos												x
- Resina												x
- Excremento de ave												x

Tabla 4. Matriz inicial de ensayos (continuación).

## APÉNDICE 2. CONDICIONES DE LOS ENSAYOS

	Patrón	Espaciado [mm]	Cinta	Disposición	Ángulo
OEM 1	25 secciones	1	Tesa 4657	Paralela	90°
OEM 2	64 secc. con trazo diagonal	3	3M 898	Paralela	180°
OEM 3	25 secciones	2	Tesa 4657	Paralela	60°
OEM 4	25 secciones	2	Tesa 4657	Paralela	60°
OEM 5	25 secciones	2	3M 898	Diagonal	90°
OEM 6	25 secciones	2	Tesa 4657	Paralela	60°
OEM 7	100 secciones	2	Nichiban LP24	Paralela	45°
OEM 8	25 secciones	2	Tesa 4122	Paralela	60°
OEM 9	25 secciones	2	Tesa 4657	Paralela	60°
OEM 10	25 secciones	2	Tesa 4657	Paralela	60°
OEM 11	100 secciones	2	Nichiban LP24	Paralela	45°
OEM 12	100 secciones	2	Nichiban LP24	Paralela	45°

Tabla 5. Adherencia por cuadrícula.

	Defecto	P [bar]	T [°C]	t[s]	d [mm]	α[°]	Boquilla	Posición
OEM 1	-	-	-	-	-	-	-	-
OEM 2	Cruz de San Andrés	60	80	120	100	90	2506	Móvil
OEM 3	Cruz de San Andrés (peine Erichsen)	75	60	60	100	90	2506	Fija
OEM 4	Cruz de San Andrés	65	70	60	100	90	25065	Fija
OEM 5	Patrón 100 secc. Espaciado 3 mm	85	25	5	75	90	2506	Fija
OEM 6	Cruz de San Andrés	65	70	30	100	90	25065	Fija
OEM 7	-	-	-	-	-	-	-	-
OEM 8	Cruz a 90°	120	50	30	100	90	2506	Móvil
OEM 9	Cruz de San Andrés	70	60	30	100	90	2506	Fija
OEM 10	Figura 5 (a)	70	60	60	130	90	2506	Fija
OEM 11	Linia (peine Erichsen)	70	30	30	200	30	2505	Fija
OEM 12	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 6. Adherencia por lavado a alta presión.

	t [s]	Proyectil	d proyectil [mm]	m [g]	P [bar]	Repeticiones
OEM 1	-	-	-	-	-	-
OEM 2	30-35	hierro	4-5	2000	2	2
OEM 3	10	hierro	4-5	500	2	-
OEM 4	10	hierro	4-5	500	1	2
OEM 5	8	grava	8-16	1000	4,7	-
OEM 6	-	acero recubierto	2,5	-	-	10
OEM 7	-	-	-	-	-	-
OEM 8	30	grava	9-15	1000	1,4	-
OEM 9	10	hierro	4-5	500	2	-
OEM 10	10	hierro	4-5	500	2	-
OEM 11	-	-	-	-	-	-
OEM 12	-	-	-	-	-	-

Tabla 7. Gravillonado.

	T[°C]	HR[%]	t[h]	Posición	Acondicionamiento
OEM 1	43	100	500	suspendido	2h RT
OEM 2	43	100	240	60°(techo)	RT
OEM 3	43	100	240	suspendido	1h y 24h
OEM 4	60	100	96	15°(techo)	1h
OEM 5	43	100	240	suspendido	1h
OEM 6	-	-	-	-	-
OEM 7	50	100	240	suspendido	24
OEM 8	ciclo	100	336	-	-
OEM 9	43	100	240	suspendido	24h
OEM 10	43	100	240	suspendido	24h
OEM 11	50	100	240	suspendido	-
OEM 12	50	100	240	45°(techo)	24h

Tabla 8. Ensayo en cámara de humedad.

	T[°C]	t[h]	Recipiente	Posicionamiento	Acondicionamiento
OEM 1	60	24	Baño termostático	inmersión vertical	2h
OEM 2	32	240	Tanque agitado-aireado	Inmersión total	30 min
	55	-	Bote sellado		30 min
OEM 3	70	2	Baño termostático	Suspendido	1h y 24h
OEM 4	40	240	Baño termostático	Soporte	1h
OEM 5	-	-	-	-	-
OEM 6	50	72	Baño termostático	Soporte	24h
OEM 7	40	240	Baño termostático	Inmersión mínima 1/2 pieza	10 min
OEM 8	-	-	-	-	-
OEM 9	-	-	-	-	-
OEM 10	-	-	-	-	-
OEM 11	40	24	Baño termostático	Inmersión total	24h
OEM 12	40	240	Baño termostático	Inmersión mínima 1/2 pieza	24h

Tabla 9. Ensayo por inmersión.

	Ciclo	Nº de ciclos	Acondicionamiento
OEM 1	80°C(4h)/CH(4h)/-40°C(16)	10	2h
OEM 2	80°C(3h)/RT(1h)/-40°C(3h)/RT(1h)/CH(16h)	15	Enfriar a Tamb.
OEM 3	CH(Lun7:00-Mier17:00)/80°C(Mier17:00-Viern17:00)/-30°C(Viern17:00-Lun7:00) 80°C(Lun7:00-Mar17:00)/-30°C(Mar17:00-Juev17:00)/CH(Juev17:00-Lun7:00) -30°C(Lun7:00-Mar17:00)/CH(Mar17:00-Vier17:00)/80°C(Vier17:00-Lun7:00)	Realizar los 3	1h y 24h
OEM 4	-	-	-
OEM 5	RT(1h)/CH(20h)/-30°C(3h)	15	24h (CH) y 1h
OEM 6	-	-	-
OEM 7	-	-	-
OEM 8	-	-	-
OEM 9	Desde RT(1h)/80°C+80%HR(4h)/enfriamiento(2h)/-40°C(4h)/hasta RT(1h)	No se puede realizar	No se puede realizar
OEM 10	No se puede realizar	-	-
OEM 11	-	-	-
OEM 12	-	-	-

Tabla 10. Ensayo por ciclo climático

	Ciclo	Nº de ciclos	Acondicionamiento
OEM 1	-	-	-
OEM 2	-	-	-
OEM 3	105°C(15h)/RT(30')/-40°C(8h)/RT(30')	3	1h y 24h
OEM 4	-	-	-
OEM 5	-	-	-
OEM 6	-	-	-
OEM 7	-	-	-
OEM 8	-	-	-
OEM 9	90°C(240h)/-40°C(24h)	1	30 min
OEM 10	-	-	-
OEM 11	-30°C(2h)/RT(30')/80°C(2h)/RT(30')	10	1h
OEM 12	-	-	-

Tabla 11. Ensayoo por shock térmico cíclico.

OEM 2	Contacto	T [°C]	tiempo	Repeticiones
Aceite de Motor	Goteo continuado	50	1 min	3
Líquido anticongelante	Goteo continuado	50	1 min	3
Líquido limpiaparabrisas	Goteo continuado	50	1 min	3
H <sub>2</sub> O	Goteo continuado	50	1 min	3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH=2	Gota	60 y 80	30 min	-
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 0,5%	Gota	60 y 80	30 min	-
Insectos <sup>iii</sup>	Gota	60 y 80	30 min	-

Tabla 12. Resistencias químicas OEM 2.

OEM 3	Contacto	T [°C]	tiempo
Líquido anticongelante	Material absorbente	RT	1h
H <sub>2</sub> O	Gota	80	1h
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	Gota	RT	1h
NaOH 1%	Gota	RT	1h y 16h
Excremento de ave <sup>iv</sup>	Gota	60	1h
Resina de árbol	Gota	45	1h

Tabla 13. Resistencias químicas OEM 3.

OEM 4	Contacto	T [°C]	tiempo
Líquido anticongelante	Gota	RT	24h
Líquido limpiaparabrisas	Gota	RT	24h

Tabla 14. Resistencias químicas OEM 4.

OEM 5	Contacto	T [°C]	Tiempo
Aceite de Motor	Gota	RT / 70	24h / 30min
Fluido de frenos	Gota	RT / 70	24h / 30min
Líquido anticongelante	Gota	RT / 70	24h / 30min
Líquido limpiaparabrisas	Gota	RT / 70	24h / 30min
H <sub>2</sub> O	Gota	RT / 80	24h / 30min
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	Gota	RT / 80	24h / 30min
Excremento de ave <sup>v</sup>	Gota	RT / 80	24h / 30min

Tabla 15. Resistencias químicas OEM 5.

OEM 6	Contacto	T [°C]	tiempo
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1%	Gota	45, 50, 55, 60	30 min

Tabla 16. Resistencias químicas OEM 6.

OEM 7	Contacto	T [°C]	tiempo
H <sub>2</sub> O	5 ml en envase sellado	55	4h
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 N	5 ml en envase sellado	RT	24h
NaOH 0,1 N	5 ml en envase sellado	55	4h

Tabla 17. Resistencias químicas OEM 7.

OEM 8	Contacto	T [°C]	tiempo
Aceite de Motor	Gota	RT	2h
Fluido de frenos	Material absorbente	RT	24h
Líquido anticongelante	Material absorbente	RT	2h
Líquido limpiaparabrisas	Material absorbente	RT	2h
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 36%	Material absorbente	RT	2h

Tabla 18. Resistencias químicas OEM 8.

OEM 9	Contacto	T [°C]	tiempo
Aceite de Motor	Gota	RT	16h
Fluido de frenos	Material absorbente	RT	1h
Líquido anticongelante	Material absorbente	RT	1h
Excremento de ave <sup>vi</sup>	Gota	45	6h
Resina de árbol	Gota	45	6h

Tabla 19. Resistencias químicas OEM 9.

OEM 11	Contacto	T [°C]	tiempo
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1 N	2 ml en envase sellado	RT	24h
NaOH 0,1 N	2 ml en envase sellado	55	4h

Tabla 20. Resistencias químicas OEM 11.

OEM 12	Contacto	T [°C]	tiempo
Aceite de Motor	Gota	RT	4h
Líquido anticongelante	Gota	RT	4h
Líquido limpiaparabrisas	Gota	RT	4h
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3%	Gota	RT	4h
NaOH 1%	Gota	RT	4h
Excremento de ave <sup>vii</sup>	Gota	50	1h
Resina de árbol	Gota	50	1h
Insectos <sup>viii</sup>	Gota	70	30 min

Tabla 21. Resistencias químicas OEM 12.

---

i CH: cámara de humedad.

ii RT: temperatura ambiente (Room Temperature).

iii Insectos: mezcla de ácido tánico, ácido fórmico, miel y albúmina de huevo.

iv Pancreatina.

v Albumina 2% en agua

vi Pancreatina.

vii Albumina 3% en agua

viii Insectos: cera de abeja