



MASTER EN AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROCESO DE PINTURA EN LA INDUSTRIA DE AUTOMOCIÓN

Autor: D. Fernando González García

Tutor: Dr. José M^a Pastor Barajas

Valladolid, Febrero 2014

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce s/n

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España



AUTOMOTIVE PAINT PROCESS ENGINEERING

ABSTRACT

"You can have any colour as long as it's black."

Henry Ford (1909)

There are number of features that all automobile manufacturers are requested by the users to provide. The most essential characters sought for by automobile purchasers can be listed as mechanical durability, chemical resistance, and pleasant in appearance after the finish painting process. However, the painting process decisions are not only influenced by buyer's preferences but also design constraints of the body and local government regulations linked with environmental control.

The concerned experts from paint process plants, auto-plant, paint and chemical plants as well as paint application equipment need to have an effective interaction to accomplish the highest possible efficiency of the paint shop. Besides highest efficiency, minimum unit production cost, conforming to emission control requirements and the best of product quality are other essential aims. To realize these goals the manufacturers nowadays has needed a high degree of automation. Owing to this technology, factories can provide consistent quality and also avoid the hazardous working environment created by the painting processes.

There are several process parameters that impact the quality of the paint application in the automotive sector and make the application different in every single product. Therefore, it is complicated and time consuming to reach an optimal solution by applying experimental configuration. To reduce the effort before the experimental configuration, thus the first step is to apply a model to the process within the framework of a simulation environment.

"We offer the customers a chance to personalize the vehicle, because "the customer is buying his car."

Jerome Stoll – Renault Executive Vice President-Worldwide marketing (2013)

AGRADECIMIENTOS

A los que hacen que todo sea posible; Mis Padres
A la generación *Los mejores* del Master de Automoción
A Özlem Tütüncü

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Historia.....	3
1.2.	Objetivo.....	4
1.3.	Planteamiento del trabajo	5
1.3.1.	Embutición	5
1.3.2.	Soldadura.....	5
1.3.3.	Montaje	5
1.3.4.	Pintura.....	6
2.	SITUACIÓN Y LINEAS DE AVANCE.....	7
2.1.	Tratamiento previo	7
2.2.	Reducción de etapas	7
2.3.	Reducción de pintura	8
2.4.	Durabilidad del acabado	8
3.	EL PROCESO DE PINTURA.....	11
3.1.	Tratamiento superficial.....	11
3.1.1.	Pretratamiento.....	12
3.1.2.	Baño de cataforesis.....	15
3.1.3.	Post-lavado	18
3.1.4.	Horneado	19
3.2.	Másticos.....	20
3.2.1.	Material: PVC plastisol	21
3.2.2.	Aplicación de másticos.....	22
3.3.	Lacas y Barniz	23
3.3.1.	Apresto (Base disolvente y Base en polvo).....	25
3.3.2.	EMU	27
3.3.3.	B0 Imprimación (Bases al agua)	28
3.3.4.	Color.....	29
3.3.5.	Horno IF + Convección	31
3.3.6.	Barniz.....	32
3.3.7.	Horno Final.....	34
3.3.8.	Aplicación y Parámetros del proceso	36
3.3.9.	Defectos y Retoques	41
3.3.10.	Medición e inspección final	45
3.4.	Ceras	49
4.	EL PROCESO DE PINTURA EN PLÁSTICOS.....	51
4.1.	Plásticos utilizados en automóviles.....	51
4.2.	Pintado de plásticos.....	52
5.	CONCLUSIONES	53
6.	REFERENCIAS	55

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1: Configuración de un taller de pintura (Adaptado, Hilt 2011).....	6
Figura 2: Tratamiento superficial (Adaptado Elsevier 2012)l	12
Figura 3: Comparativa entre los dos tipos de electrodeposiciones (Fettis 1995)	16
Figura 4: Proceso de electrodeposición (1), escurrido (2) y horneado (3) (Fiat 2010)	19
Figura 5: Chapa metálica, fosfatado, cataforesis (Autor)	19
Figura 6: Aplicación de mástico de estanqueidad (revocoat.com)	21
Figura 7: Proceso de aplicación de mástico (ABB.com)	23
Figura 8: Disposición de un taller de pintura “wet” (Autor)	24
Figura 9: Disposición de un taller de pintura estándar (Autor)	24
Figura 10: Utilización de <i>primers</i> por continente (2003) (Viley VCH)	28
Figura 11: Temperatura carrocería en horno (Sharma 2007).....	35
Figura 12: Recogida de pintura en el lavador (durr-paint.com)	37
Figura 13: Partes de un robot de pintura (Adaptado ifr.org).....	37
Figura 14: Ejes de un robot de pintura (Adaptado ifr.org)	38
Figura 15: Comparativa entre atomizadores rotacionales (Durr.com)	40
Figura 16: Descolgón (Técnica industrial 250).....	42
Figura 17: Piel de naranja (Técnica industrial 250).....	42
Figura 18: Hervidos (Técnica industrial 250).....	42
Figura 19: Cráter (Técnica industrial 250).....	43
Figura 20: Suciedad (Técnica industrial 250).....	43
Figura 21: Lijado y Pulido (Técnica industrial 250).....	43
Figura 22: Armonía (Técnica industrial 250)	44
Figura 23: Funcionamiento de <i>Wavescan</i> (Gordon 1995).....	46
Figura 24: Método basado en inducción magnética (helmut-fischer.de)	47
Figura 25 Test de adherencia y gravillonado (Adaptado Sharma 2007)	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de recubrimientos de fosfatación (Narayanan 2005).....	14
Tabla 2: Parámetros operacionales en cataforesis (Peirón 2012).....	18
Tabla 3: Propiedades de los aglutinantes (Fettis 1995)	26
Tabla 4: Propiedades de la imprimación con base al agua (Viley VCH)	29
Tabla 5: Diferencias entre horno de infrarrojo y convección (Bill 2011)	31
Tabla 6: Comparativa entre barnices (Adaptado Graco 2004).....	32
Tabla 7: Parámetros del proceso de pintura (Autor)	41
Tabla 8: Otros defectos menos comunes (BASF 2012)	44
Tabla 9 Valores máximos para LW, SW y DOI	46
Tabla 10: Plásticos utilizados en automóviles (Adaptado Standox 2008)	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Historia

En la primera década del siglo XIX salieron al mercado los primeros vehículos y desde entonces, el proceso de pintura y su tecnología han ido realizando avanzados cambios para proteger y embellecer este medio de transporte, mediante productos naturales en los inicios, hasta los polímeros de alta tecnología de la actualidad.

En las primeras décadas del siglo XX el proceso de pintura se basaba en los mismos productos que se utilizaban para la madera, como muebles o los propios carruajes de la época, ya que daban muy buen resultado aunque tenían un problema, sólo se podía ofrecer el color negro. *“Un cliente puede tener su automóvil del color que desee, siempre y cuando desee que sea negro”* (Henry Ford). La aplicación de estos líquidos era tediosa y conllevaba una gran cantidad de tiempo de secado produciendo un cuello de botella en el proceso.

La aplicación de los barnices se remonta a los carruajes de caballos donde, en sus inicios, se usaban grasas animales. Más tarde, se fue evolucionando hacia las ceras y los aceites, los cuales ayudaron a sellar los recubrimientos de las pequeñas imperfecciones de la madera donde el agua se introducía, y mantenerla de esta manera perfectamente seca. Con estas ceras se consiguió belleza y un acabado brillante característico, pero tenían un inconveniente y es que había que aplicarlas frecuentemente ya que sus propiedades protectoras se perdían con el tiempo. Toda esta “tecnología” era aplicada a los primeros coches de la época que iban sustituyendo a los carruajes y que montaban marcos de maderas con capas similares.

Poco a poco la industria de la automoción va evolucionando y realizando automóviles de más calidad, añadiendo una carrocería metálica, generalmente de tipo ferroso, la cual debía estar recubierta para evitar su deterioro, y aunque al principio algunas partes eran galvanizadas pronto se dieron cuenta de que la pintura era una solución lógica ya que protege y decora al mismo tiempo.

La falta de productos de fácil aplicación, duraderos y de secado rápido, eran una desventaja y un lastre para la eficiencia de la producción. La química iba avanzando con el paso de los años y con ella nuevos productos de recubrimiento se iban descubriendo en los laboratorios. En 1923, E. I. DuPont de Nemours desarrolla los sistemas de laca basadas en nitrocelulosa, la cual ofrece una gran cantidad de colores y su aplicación es muy sencilla, por medio de pistolas, uno de los grandes avances del momento. Sin embargo, la consecución de las propiedades deseadas no era tan sencilla ya que necesitamos aplicar entre 3 y 4 capas para obtenerlas, además de no ser resistente a disolventes químicos.

Las pinturas basadas en nitrocelulosa supusieron un gran avance para el proceso de aplicación ya que pasó a ser pulverizada, lo que conllevaba un tiempo de secado más corto. La química a los pocos años trajo los esmaltes alquídicos. Estos eran derivados de la glicerina que se procesaba a partir de grasas animales y vegetales.

A partir de la creación de los esmaltes alquídicos a lo largo de la década de 1930, se crea la primera etapa donde podemos reconocer como el proceso moderno de pintado en la industria de automoción. Dichos esmaltes ofrecían un brillo de buena calidad y una cantidad de colores aceptable para la época, mejorando la aplicación y la rapidez en el secado. Tras la Guerra Mundial, la tecnología se desarrolló de forma sorprendente y la química por tanto no iba a ser menos. Se desarrolló el OEM (*original equipment manufacturer*) y el repintado industrial ofreciendo un tiempo de secado muy rápido en comparación a los inicios, lo que hizo que el proceso de pintura dejase de ser el problemático cuello de botella que era, haciendo que la productividad de las líneas mejorara notablemente.

Posteriormente, en el año 1957 la industria de la automoción estaba en pleno auge sobre todo por la gran demanda de coches durante la postguerra. En este tiempo las lacas acrílicas fueron abriéndose camino añadiendo colores metálicos y diferentes brillos.

Los esmaltes superaron a los barnices eliminando el pulido necesario que se necesitaba una vez secado para obtener un alto brillo, además de mejorar la resistencia a los rayos ultravioletas. La mejora de los métodos de aplicación y el aumento de la durabilidad en el aspecto hizo que los usuarios se beneficiaran. Alrededor de los años setenta se introdujo el uso de catalizadores los cuales aumentaban el rendimiento hasta un 50% más, mejorando los acabados y realizando un proceso muy parecido al actual de “capa base y capa transparente”.

El sistema de pintura de capa final se dividió en una capa base de esmalte pigmentado, seguido de un acabado de esmalte transparente, La clave de esa tecnología fue el desarrollo de una capa transparente de materiales con durabilidad superior para todos los climas. Este sistema en sus inicios era prohibitivo y como es de suponer se utilizaba en algunos constructores de gama alta. A lo largo de la década de los 80, este sistema se había generalizado y hoy en día es el sistema más común en un proceso de pintura.

Los beneficios de este sistema de dos capas eran muchos. Se aumentó el brillo, que era insuperable por cualquier otro sistema de pintura. También permitió a la pintura la incorporación de formuladores absorbentes de UV para proteger a la capa base y a los pigmentos de la oxidación.

Actualmente la industria intenta dominar el acto de equilibrio entre calidad, costes y sostenibilidad. (Doris Schulz, 2013). La creación de normativas estrictas y certificados medioambientales ha hecho mejorar el balance ecológico, aumentar la eficiencia del proceso y una mejora sustancial de la calidad percibida. Estos son los objetivos de los constructores y sus proveedores, los cuales ofrecen soluciones innovadoras provenientes del I+D+i. Desde el tratamiento previo, el equipamiento y la tecnología de aplicación de sistemas de pintura, llegando a la creación de finas capas para la fabricación de componentes. También utilizando tecnologías que no requieren secado, imprimación, menos desperdicio de pintura, mejor acabado, pero siempre con la calidad y la base de lo que ya se venía haciendo. Un ejemplo es la tecnología 3 Wet, en la cual el pintado no necesita una imprimación seca sino sobre ella se pinta la laca y el barniz en mojado aumentando la eficiencia del proceso.

1.2. Objetivo

Unas propiedades químicas resistentes, unas propiedades mecánicas duraderas, agradable en apariencia y un acabado perfecto es lo que todo usuario de automóviles exige.

Las limitaciones del producto y del diseño de cada modelo, las preferencias de los clientes, normativa y regulaciones locales, gubernamentales y europeas relacionadas con el cuidado del medio ambiente, afectan, como en todo proceso de automoción, a cada una de las decisiones que se toman. Para lograr la máxima eficiencia en un proceso tan complicado se necesita una perfecta interrelación entre cada uno de los departamentos existentes, desde mantenimiento, logística o ingeniería hasta el propio proveedor de pintura en planta, un conocimiento pleno de los parámetros que afectan a la aplicación, control total de las instalaciones y por supuesto del producto aplicado.

La mejora de la relación entre calidad/precio y mínimo coste de producción, junto a los ajustes de emisiones impuestas por normativa, ha hecho que los talleres de pintura requieran un alto grado de automatización con el fin de obtener la máxima eficiencia durante el proceso, consiguiendo la calidad deseada y evitando los ambientes de trabajo peligrosos para las personas.

Durante este trabajo fin de master vamos a desarrollar y explicar cada una de las estaciones por las que una carrocería pasa, teniendo en cuenta el fin de cada estación y los parámetros más importantes que afectan a ésta, logrando entender cómo funciona una planta de pintado.

1.3. Planteamiento del trabajo

La producción de un automóvil se desarrolla en 4 bloques fundamentales: Embutición, Soldadura, Pintura (tema de estudio en este trabajo) y Montaje.

1.3.1. Embutición

En la embutición, como en todo proceso productivo, los parámetros de fabricación y del diseño del producto son claves. La conformabilidad característica del elemento, el tipo de prensa, moldes, tecnología o la propia variación de la temperatura durante el proceso, hacen que el elemento final sea lo más cercano posible a nuestras expectativas de diseño. En la actualidad, los procesos son muy sofisticados consiguiendo mantener una producción eficiente y lo más barata posible, evitando todo tiempo de inactividad y riesgos en los operarios y el proceso. Por ello, el estudio de las materias primas a conformar es necesario para mantener una calidad óptima a cada una de las piezas embutidas a un precio reducido.

El acero es el elemento mayoritario en una carrocería de automóvil, aunque actualmente el aluminio por sus características y sobre todo por su ligereza está sustituyendo diferentes partes de la carrocería como puertas y portones entre otros, con el fin de realizar estructuras más ligeras para la mejora de la eficiencia energética y la reducción de las emisiones que por normativa se impone. Otras mejoras en esta reducción de peso son la hibridación de las estructuras, el uso del magnesio y materiales compuestos o el uso de nuevos sistemas de producción alternativos como el *hydroforming* o *thixomolding*.

1.3.2. Soldadura

Como hemos comentado en la embutición, los nuevos aceros, aleaciones y el uso del aluminio en automoción se están extendiendo entre todos los constructores. Todo esto implica que los procesos de fabricación también deban cambiar, y la soldadura es uno de ellos.

La soldadura por puntos, más extendida en la industria de automoción, para unir chapas de acero convencional. Cuando cambiamos ese acero por uno de alta resistencia mecánica, la presión que debemos ejercer para obtener el mismo resultado debemos multiplicarlo por tres, esto además conlleva más tiempo de aplicación lo que hace variar la temperatura y así una cadena de factores que deben ser tenidos en cuenta.

Nuevas tecnologías se están empezando a aplicar para los nuevos materiales siendo la más extendida es la soldadura por láser, Esta tecnología permite conseguir altas calidades de soldadura mediante cordones muy finos. Muchos tipos de soldadura en laser no necesitan aporte de material, es el propio material soldado el que se funde y recristaliza lo que nos da la posibilidad de soldar materiales diferentes.

1.3.3. Montaje

Actualmente los fabricantes de automóviles han cambiado su forma de producción gracias a la filosofía *Lean Manufacturing* basada fundamentalmente en la flexibilidad, calidad perfecta a la primera, minimización del desperdicio, mejora continua y en la realización de procesos "*pull*". Lean está teniendo su segundo apogeo después de que Toyota la aplicara con gran éxito. Con ella consiguen mejores eficiencias en sus procesos para ser más competitivos en los mercados mundiales.

Dicha filosofía no es sólo aplicada en los grandes fabricantes sino que sus proveedores también la aplican, muchas veces por obligación de sus clientes, con el fin de conseguir una relación cliente-proveedor hasta el extremo de la entrega de productos secuenciados y en mínimos lotes (*Just in time*).

1.3.4. Pintura

Los procesos típicos a seguir durante el proceso de pintado en automoción son los siguientes:

- ✓ Limpieza previa
- ✓ Multifase pretratamiento (fosfatación)
- ✓ Cataforesis (Electro-deposición)
- ✓ Mástico
- ✓ Aplicación de imprimación y lacas
- ✓ Aplicación de barniz
- ✓ Aplicación de cera

Una vez el coche es soldado por completo, pasa al proceso de pintura en el que en un primer momento pasará por una limpieza previa donde eliminaremos polvo, grasa y suciedad de todos los procesos anteriores. Tras este primer paso pasaremos al pre-tratamiento o fosfatado con el fin de aumentar la resistencia a la corrosión y obtener una buena adherencia de la pintura. En tercer lugar, la cataforesis por electro-deposición asegurando de esta manera una aplicación uniforme. Siguiendo el proceso pasamos a másticos de estanqueidad y antigraillonado. A continuación pasamos por una imprimación suavizando la superficie para más tarde aplicar el color. Por último, la capa superior será el barniz que dará el brillo característico.

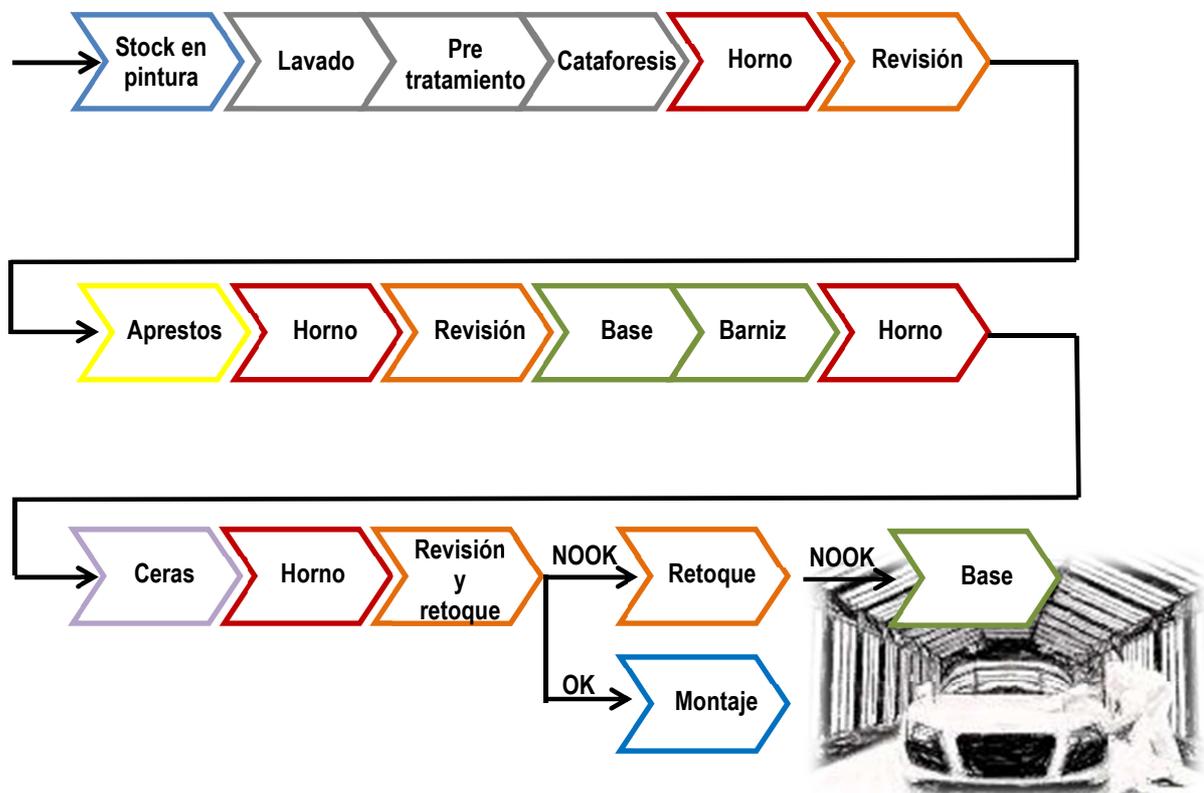


Figura 1: Configuración de un taller de pintura (Adaptado, Hilt 2011)

2. SITUACIÓN Y LINEAS DE AVANCE

Los sistemas productivos de hoy en día y por tanto también los de pintura tienen como objetivo la mejora de la rentabilidad económica del proceso, la mejora continua de su eficiencia y el aumento de la calidad percibida por el cliente. Y todos ellos se aplican ya sean vehículos compactos, eléctricos o del segmento de lujo. El color y el brillo que proporciona este proceso producen una gran cantidad de las ventas totales.

Proveedores de pinturas como BASF, PPG, Chemetall... tienen grandes departamentos de I+D con el fin de ofrecer a sus clientes soluciones innovadoras que cumplan con las expectativas. Desde el tratamiento previo, el equipamiento o las diferentes tecnologías de aplicación hasta productos de alta resistencia a los diferentes fenómenos internos y externos del coche.

Todo ello debe estar englobado por un proceso eficiente, sostenible y ecológico a la vez que económico para el constructor, y para ello la industria debe mejorar día a día, no solo desarrollando nuevas tecnologías sino mejorando de forma continua las que ya tiene.

2.1. Tratamiento previo

Actualmente, cada una de las piezas metálicas que conforman la estructura del coche está sometida a un proceso de fosfatado de zinc durante el tratamiento previo con el fin de proteger los elementos metálicos contra la corrosión y adquirir una buena adherencia de la pintura durante el proceso de aplicación.

En el afán de realizar los procesos más eficientes económicamente y además de mejorarlos ecológicamente, el fosfatado de zinc, el cual contiene metales pesados, está siendo reemplazado por tecnologías más novedosas como los procesos nano-cerámicos. Este tratamiento supone un avance en la aplicación de tratamientos previos ya que puede ser aplicado a temperatura ambiente y en forma de polvo antes de entrar en los baños, lo que conlleva una reducción económica al no calefactar previamente. Además, al estar libre de metales pesados tóxicos se reduce el coste en el tratamiento de aguas residuales, por tanto el de la gestión de residuos y limpieza de los equipos.

Lo mismo sucede para las piezas plásticas, donde se está empezando a implantar la limpieza CO₂ con hielo seco, en demérito de la limpieza a presión *Powerwasher*, ya que nos proporcionara unos ahorros en costes y material considerables y puede ser instalada de forma sencilla en el interior de las líneas de pintura sin grandes inversiones.

2.2. Reducción de etapas

La función de relleno viene dada por la capa de imprimación. Esta capa necesita de un proceso de curación en horno. Eliminandola, a favor de nuevas tecnologías, conseguimos suprimir el secado intermedio. Aplicando pinturas al agua, donde las propias capas en húmedo hacen la función de imprimación, se puede llegar a conseguir unas eficiencias y ahorros de energía precisada de entre un 15% y un 20%. Además, esta nueva tecnología de bases al agua reduce la cantidad de disolventes necesarios ya que son miscibles en agua y elimina etapas como la estación de apresto.

Un proceso parecido se produce en el campo de los plásticos, en el cual tampoco necesitamos imprimación ni relleno ya que sigue la misma tendencia que los metales. Incluso nuevas soluciones en la inyección, consiguen que el acabado de las piezas sea totalmente brillante simplemente con la coloración interna del plástico.

2.3. Reducción de pintura

Los departamentos de ingeniería de una planta de automoción están en continuo proceso de mejora. El ahorro en costes conlleva en parte centrarse en los puntos de pérdida de pintura. Los atomizadores, las purgas de aplicación y las pérdidas en el suministro entre las diferentes estaciones son las áreas con más potencial de mejora.

Respecto a los atomizadores, se buscan soluciones aumentando la eficiencia del chorro de aplicación adaptándolo a la geometría requerida, además del uso de tecnología electrostática mediante atomizadores por rotación. Estos últimos son capaces de modificar las rotaciones dependiendo de la zona aplicada, consiguiendo eficiencias del 90% respecto a los no rotativos.

Los proveedores de tecnología de aplicación, implementan día a día nuevas modificaciones en sus robots. Gracias a las bases hidrosolubles, se han desarrollado sistemas potenciales de separación en el mismo interior del robot, logrando que el purgado del color sea más rápido con menor cantidad de disolvente. Asimismo, se consiguen atomizaciones mucho más finas, lo que ocasiona una aplicación homogénea con menores velocidades de aire de cabina, resultando de nuevo un ahorro.

Prácticamente todo proceso de pintura esta robotizado, de esta manera podemos reproducir la aplicación con el fin de buscar la más adecuada, evitando el exceso de pintura que se produce en el pintado manual y que causa en ocasiones defectos que nos llevan a la recirculación por el proceso. Otra ventaja de esta automatización viene dada por el acondicionamiento de la cabina donde podremos combinar el aire recirculado con el fresco mediante un *by pass* obteniendo ahorros de energía derivados de la climatización.

Por último, el suministro de pintura a lo largo del proceso y su recuperación nos lleva a un consumo reducido. Conseguir transportar cantidades de pintura bien definidas hasta las cabinas o sistemas de recuperación de pintura no adherida en el proceso pueden ser bases para nuevas tecnologías.

El stockaje secuencial por modelos y colores hace que durante el proceso, la receptibilidad del mismo sea mucho más eficiente, evitando purgas de colores cada minuto, ahorrando disolvente de limpieza y consiguiendo buenas respuestas de los autómatas.

2.4. Durabilidad del acabado

Las tendencias y modas en los automóviles son un hecho, cada cierto tiempo, los modelos, los colores e incluso los barnices cambian. Pero una cosa nunca se altera y es la exigencia del cliente porque su coche parezca como nuevo durante toda su vida útil. Los barnices son parte significativa y causante de ello. En barnices brillantes, se intenta hacerlos más resistentes al rayado en cambio los opacos son robustos por sí mismos y facilitan el cuidado, aunque su uso viene delimitado por la demanda del consumidor ya que no están muy extendidos y su precio es elevado.

Con el fin de conseguir durabilidad se aplican soluciones innovadoras que están en sus inicios, y aunque son caras, el sector de lujo y alta gama ya las está aplicando. Una de ellas se realiza mediante la aplicación de *sol gel nano*. Se basa en la aplicación de aluminio anodizado por la superficie consiguiendo una película transparente resistente a los arañazos. La mezcla de las ventajas de las materias inorgánicas con las ventajas de las materias orgánicas es otra línea de investigación que toma fuerza. El uso de los barnices UV prospera con el tiempo, no solo por su calidad frente rayado sino que nos proporcionan un ahorro de energía considerable y reduce la cantidad de emisiones nocivas que hasta ahora se estaban produciendo. Igualmente nos proporcionan tiempos de secado muy cortos gracias a la tecnología UV, que junto a un ambiente de gas inerte hace que las condiciones sean idóneas para el proceso inclusive para piezas grandes.

Una de las líneas futuras que podría aplicarse gracias a la reducción de peso, ahorro energético y a la actual tendencia por lo medioambiental que tiene como bandera el coche eléctrico, es la tecnología de película. Consiste en películas de policarbonato y otros materiales poliméricos con un acabado brillante y muy resistentes al rayado una vez añadida la capa polimérica. Con ello generamos módulos que pueden cubrir superficies lisas como un portón o superficies más complejas como un paragolpes y quedarán endurecidas gracias a la aplicación y endurecimiento UV que se produce en sus componentes.

3. EL PROCESO DE PINTURA

3.1. Tratamiento superficial

También comúnmente llamado pretratamiento. Mediante este término denominamos el proceso de preparación de la carrocería en blanco proveniente de la soldadura con el fin de:

- ✓ La eliminación de cualquier residuo superficial o interno como aceites o recubrimientos protectores temporales aplicados previamente para proteger el metal, ya sea en su transporte o en su proceso de fabricación.
- ✓ Mejorar la adherencia de la pintura, consiguiendo una superficie inerte mediante un proceso químico que le dará una buena base para un revestimiento de pintura posterior.
- ✓ Prevención de la corrosión y su propagación bajo la pintura.

Todas estas fases se aplican de diferente manera, mediante técnicas de pulverización, inmersión o chorro a presión.

Cada una de las etapas del proceso es crítica, pero hay una que sobresale por encima de las demás, que es el baño de cataforesis. El principal producto químico que se utiliza en el mundo de la automoción es la solución acuosa de fosfato de zinc, aunque cada vez son más comunes los sistemas de cromado. Los tipos de pretatamiento se clasifican en dos principales. El primer tipo de reacción se compone exclusivamente de sustancias químicas inorgánicas que reaccionan con la solución acuosa en el medio que está siendo tratado. El otro es *dry-in-place* el cual comprende una mezcla de compuestos inorgánicos con una resina orgánica que al combinarse crean un revestimiento en la superficie.

El material más utilizado en la fabricación de automóviles es el acero, aunque esta situación está cambiando rápidamente en los últimos años con el aumento de metales como el acero galvanizado, el aluminio y sus aleaciones o materiales no metálicos como el plástico. Esto significa que los procesos de pretratamiento han tenido que reciclarse y renovarse, desarrollando nuevos productos o modificando los ya existentes para hacer frente a estos cambios, con el fin de optimizar su rendimiento frente a los nuevos materiales y aleaciones.

Las normativas medioambientales son cada vez más exigentes con los residuos químicos y la peligrosidad de los procesos, por lo que las fábricas están realizando grandes esfuerzos para reducir el efecto perjudicial que suponen sus procedimientos sobre el medio ambiente. El ejemplo más claro es la reducción de peso en el vehículo con el fin de disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Esto implica el uso, como ya hemos dicho, de materiales más ligeros como el aluminio. Esto hace que se produzca un cambio general en todos los procesos de desarrollo del coche, lo cual se aprovecha para el avance ecológico de nuevos productos.

Hay una gran variedad de problemas que surgen con la introducción del aluminio en la construcción de las carrocerías. Uno de ellos, además del coste, calidad y productividad, es el uso de varios materiales en un mismo chasis, por lo que se han tenido que desarrollar nuevas tecnologías capaces de realizar un pretratamiento correcto en superficies diferentes.

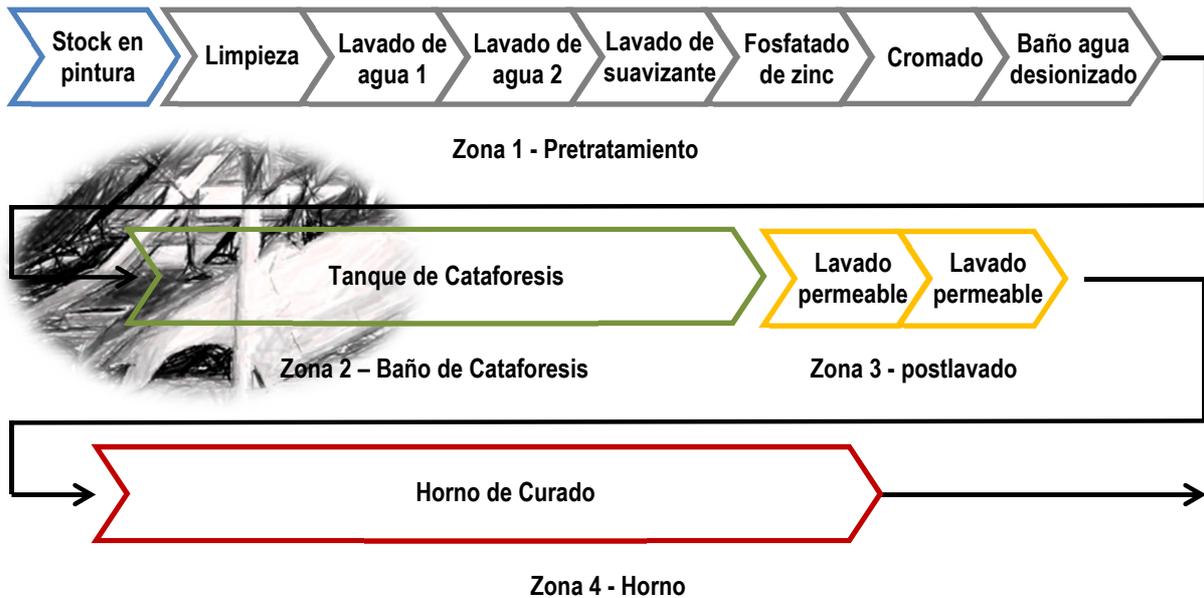


Figura 2: Tratamiento superficial (Adaptado Elsevier 2012)

3.1.1. Pretratamiento

3.1.1.1. Limpieza y lavados

Un requisito fundamental para conseguir un buen resultado final, consiste en lograr un proceso libre de errores. Para una buena formación de la capa de fosfatado es trascendental una superficie limpia, libre de contaminantes, como aceites, grasas, ceras, productos corrosivos o proyecciones de soldadura. Muchos de los defectos de aplicación se pueden atribuir a la mala preparación de la superficie metálica. Un agente de limpieza perfecto es aquel capaz de eliminar todos los contaminantes, e impedir su redeposición y la formación de otros productos de reacción perjudiciales. Una variedad de métodos, como el chorro de arena, desengrasado con disolvente, vapor de desengrase, decapado y limpieza alcalina pueden usarse para lograr este fin.

La limpieza mediante chorros de arena es uno de los métodos más eficaces a la hora de limpiar superficies. Sin embargo, es muy caro y no limpia interiores, ya que la aplicación se produce desde el exterior. Su uso se justifica como un procedimiento en procesos donde no se pueden utilizar tratamientos químicos.

Los disolventes orgánicos son efectivos pero tóxicos, por lo tanto debemos hacernos cargo de su tratamiento, siendo éste un método costoso.

La problemática del uso de los dos procedimientos anteriores, ha hecho que se desarrolle la técnica del desengrase por vapor, a la cual la podemos añadir mínimas cantidades de disolvente con el fin de hacerla más efectiva.

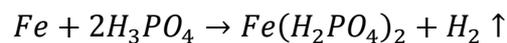
La limpieza alcalina es el método más extendido en automoción, ya que proporciona una alternativa económica y eficaz al uso de disolventes orgánicos en la eliminación de grasas, aceites y ceras. También se utilizan en combinación con agentes activos de superficie y disolventes de hidrocarburos emulsionados. Los limpiadores alcalinos son particularmente eficaces en agua caliente, a una temperatura aproximada de 79°C. Este tipo de limpieza está libre de riesgos de incendio o toxicidad asociados a los disolventes orgánicos, aunque en algunos casos son añadidos en pequeñas cantidades lo que hará que debamos tomar precauciones. El uso de ácidos como HCl, H₂SO₄, H₃PO₄ hace al sistema más eficaz en la eliminación de óxidos y cascarillas. Las soluciones diluidas (5-10%) de HCl, H₂SO₄ se utilizan en presencia de inhibidores para eliminar contaminantes inorgánicos mediante la conversión de sus sales ferrosas.

El empleo de H_2SO_4 se realiza a altas temperaturas, alrededor de $60^\circ C$. H_3PO_4 es un agente de limpieza duradero en el tiempo, no sólo porque elimina sólidos orgánicos e inorgánicos en la superficie, sino que además reacciona con la superficie metálica obteniendo de esta manera un área mecánica y químicamente receptiva para su posterior fosfatación.

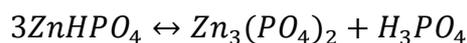
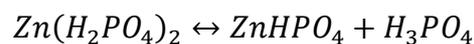
Al finalizar el lavado y previamente al paso por el fosfatado y cromado, debemos realizar el enjuague del coche eliminando restos de cualquier proceso previo en especial productos provenientes de las fases anteriores. Esto se realiza mediante un lavado suavizante dejando la carrocería en un estado idóneo.

3.1.1.2. Fosfatado y cromado

Todas las soluciones de fosfatación convencionales son soluciones diluidas de ácido fosfórico a base de uno o más metales alcalino/iónico provenientes de metales pesados, los cuales contienen esencialmente ácido fosfórico libre e iones primarios de metal en el baño. Cuando un cuerpo de acero se introduce en una solución de fosfatación se produce una reacción química que se inicia debido a la mezcla de ánodos de hierro presentes en el material de la carrocería del coche y el ácido fosfórico libre presente en el baño. El desprendimiento de hidrógeno se produce por parte del cátodo.



La formación del fosfato ferroso soluble en el primario conduce a la disminución simultánea de la concentración de ácido en la solución resultante, aumentando de esta manera el pH entre la fase metal/solución. Este cambio en el pH altera el equilibrio hidrónico que existe entre los fosfatos primarios solubles y los insolubles terciarios correspondientes a los iones metálicos insolubles de los fosfatos de metales pesados. En el baño de fosfatación de zinc estos equilibrios puede representarse como:



Una cierta cantidad de ácido fosfórico libre debe estar presente para frenar la hidrólisis y mantener estable el baño, con el fin de que la deposición de fosfato sea eficaz en todas las áreas. Otro factor que afecta en la deposición, es la temperatura del baño. Las temperaturas más altas favorecen la precipitación de fosfatos en un tiempo mucho más corto. En contraposición, en el caso de los baños de fosfatación a temperatura ambiente, es muy probable el aumento de la acidez durante la realización de cada proceso de forma continua y generalmente se neutraliza por la acción del carbono del metal que forma el revestimiento ($Zn(CO_3)_2$ en un baño de fosfatado de zinc). Por lo tanto, dependiendo de las temperaturas de trabajo y las concentraciones de los constituyentes del baño, tendremos que elegir el contenido de ácido fosfórico libre para mantener las condiciones de equilibrio. El exceso de ácido fosfórico no solo retrasará la formación del recubrimiento, sino que también conducirá a la pérdida excesiva de metal.

En el proceso de fosfatación y una vez que han sido limpiadas de forma adecuada las superficies, se procesará la superficie, lo que provoca la formación de una capa de fosfato resistente a la corrosión. Podemos encontrar, como ya hemos dicho, una amplia gama de composiciones de fosfatación en el mercado, aunque, la elección correcta de los componentes y las condiciones de funcionamiento del baño de fosfato se harán sobre la base de la naturaleza del material a tratar y sobre todo de su uso final.

La mayoría de las composiciones de fosfatación que existen están esencialmente basadas en soluciones diluidas de ácido fosfórico que contienen metales alcalinos provenientes de metales pesados además de aceleradores adecuados para la reacción química. Basado en la naturaleza del ión metálico que constituye el componente principal de la solución de fosfatación, podremos clasificar los baños en baños de zinc, manganeso y hierro, correspondiendo el primero al proceso más común. Las características de cada uno de los productos las podemos encontrar en la Tabla 1.

Características	Fosfato de hierro	Fosfato de zinc	Fosfatos pesado
Recubrimiento	0,16 – 0,80 g/m ²	1,4 -4.0 g/m ²	7,5 – 30 g/m ²
Tipos	Limpiador / Revestimiento	Standard Níquel-modificado	Fosfatado de manganeso
	Standard	Bajo en Zinc	Fosfatado de Zinc
	Fosfatado orgánico	Calcio-modificado Magnesio-modificado	Fosfatado de Hierro
Aceleradores	Nitritos/Nitratos	Nitritos/nitratos	Ninguno
	Cloratos	Cloratos	Clorato
	Molibdeno	Nitrobenceno	Nitrato
		Ácido Sulfúrico	Nitroguanidina
Temperatura de trabajo	Ambiente – 70°C	Ambiente – 70°C	60 – 100°C
Acido libre	-2,0 – 2,0	0,5 – 3,0	3,6 – 9,0
Acido total	5 – 10	10 – 25	20 – +40
Condiciones de Pre-fosfatado	Ninguna	Fosfato de Titanio Ninguno	Fosfato de Manganeso Fosfato de Titanio Ninguno
Uso primario	Ambientes corrosión bajo.	Ambientes corrosión alto.	Aplicaciones sin pintar.
Limitaciones	Baja resistencia a la corrosión.	Alta resistencia a la corrosión una vez pintado Baja resistencia si no se pinta.	Caro. Proceso de aplicación largo.
Materiales necesarios para almacenamiento	Acero bajo en carbono.	Acero bajo en carbono. Acero inoxidable. Acero revestimiento plástico.	Acero inoxidable. Acero bajo en carbono.
Método de aplicación	Pulverizado.	Pulverizado.	Solo inmersión.
	Inmersión.	Inmersión.	

Tabla 1: Características de recubrimientos de fosfatación (Narayanan 2005)

El proceso de fosfatado se puede realizar con eficacia sobre metales tanto ferrosos como no ferrosos. Entre los ferrosos los más usados son los aceros suaves, aunque los aceros martensíticos, galvanizados e inoxidable también pueden ser fosfatados. Metales no ferrosos como el zinc, magnesio, cadmio y aluminio también pueden ser fosfatados, señalando este último como fuerte tendencia en la industria de la automoción.

Las propiedades físicas como la dureza, la resistencia a la tracción y la manejabilidad del metal original después del fosfatado deben conservarse. El cambio dimensional causado por recubrimientos de fosfato sobre la superficie del metal es del orden de 3 a 10 μm . La deposición de fosfatado en general, se puede hacer mediante pulverización o inmersión, aunque en automoción se suele hacer por inmersión. Los procesos de pulverizado requieren tiempos más cortos aunque necesitan más espacio en fábrica y un equipo especial para su aplicación. Los procesos por inmersión son más lentos pero consiguen revestimientos más uniformes en menos espacio, además se consiguen fosfatados entre chapas de alta calidad. Tienen un riesgo, y es que son más susceptibles a la contaminación durante el proceso, lo que nos llevaría a tener defectos en la aplicación. La tendencia futura es la utilización de ambos sistemas con el fin de conseguir un resultado óptimo.

El fosfatado se puede llevar a cabo a temperaturas que van desde los 30°C hasta los 99°C y el tiempo que necesita para su procesamiento varía desde unos segundos a minutos. La elección de estos dos parámetros vendrá definida por factores como la naturaleza del metal o el conjunto de metales que queremos recubrir, el espesor que queremos dar y la composición del baño. No olvidemos que el proceso de fosfatación implica un agotamiento constante de las propiedades del baño y con el fin de garantizar un recubrimiento satisfactorio, parámetros como el ácido libre, la cantidad de acelerador, de hierro y de otros componentes metálicos, deben estar estrictamente controlados dentro de los límites óptimos.

3.1.2. Baño de cataforesis

La electrodeposición o cataforesis, como se la conoce en el mundo de la automoción, comenzó a utilizarse a finales de los años sesenta. En un corto plazo de tiempo, casi todos los constructores decidieron industrializar sus vehículos con esta técnica. Los principales motivos de esta aceptación tan rápida, a pesar de su mayor coste en infraestructura y puesta en marcha, fueron:

- ✓ Espesor de película uniforme y predeterminada, en un intervalo de producción reducido y en todas las superficies en contacto con el baño, incluyendo las más difíciles e inaccesibles como cavidades, articulaciones y secciones de caja.
- ✓ Mayor flexibilidad operacional: en lo que era un proceso de inmersión convencional el espesor de la película y la uniformidad eran determinadas por las propiedades reológicas de la pintura y en menor medida por los parámetros de inmersión, como el ángulo de sumersión o el índice de secado. En un proceso de inmersión por electrodeposición las condiciones de funcionamiento son mucho más fiables y pueden ser medidas electrónicamente, como la temperatura, pH y el extracto seco, pudiendo ser usados como parámetros de control.
- ✓ Mejor rendimiento en las propiedades mecánicas y de protección frente a la corrosión, derivado del modo de deposición, el espesor en las áreas críticas y la reducción de las áreas sin producto aplicado.
- ✓ Reducción de disolventes y con ello los posibles residuos y su posterior tratamiento además de los riesgos derivados del uso de productos químicos peligrosos.
- ✓ Alto grado de automatización del proceso.
- ✓ Bajo coste de mantenimiento y mano de obra.
- ✓ Muy eficiente, con rendimientos de hasta un 95% de material depositado.

Esta primera electroforesis era de tipo anódica, la cual utilizaba aceites maléicos, poliésteres, ésteres de resinas epoxi y polímeros de polibutadieno con pigmentos anticorrosivos. A mediados de los setenta, la industria de la automoción se vio obligada a ofrecer mejores calidades anticorrosivas, debido a serios problemas que se produjeron en EEUU y Canadá que hicieron que PPG desarrollara la versión catódica de la electrodeposición, la cual, continúa usándose hoy en día. Esta nueva versión cuadruplicaba el rendimiento anticorrosivo en acero fosfatado, especialmente en películas delgadas de 5-10µm las cuales podían corresponder a las áreas más inaccesibles del coche, es decir el poder de penetración que se conseguía era muy superior a la versión anódica. Al mejorar su poder anticorrosivo, los procesos previos de fosfatado se ven afectados, ya que pueden ser reducidos, consiguiendo un ahorro de producto y energía, que finalmente supondrá un proceso más económico. Además, conseguimos una estabilidad inherente, mejor resistencia química del polímero catódico y un bajo pH de funcionamiento (<7) con lo que logramos eliminar los tres principales problemas comúnmente asociados con el proceso anódico; la oxidación de polímero, la hidrólisis y el ataque bacteriano.

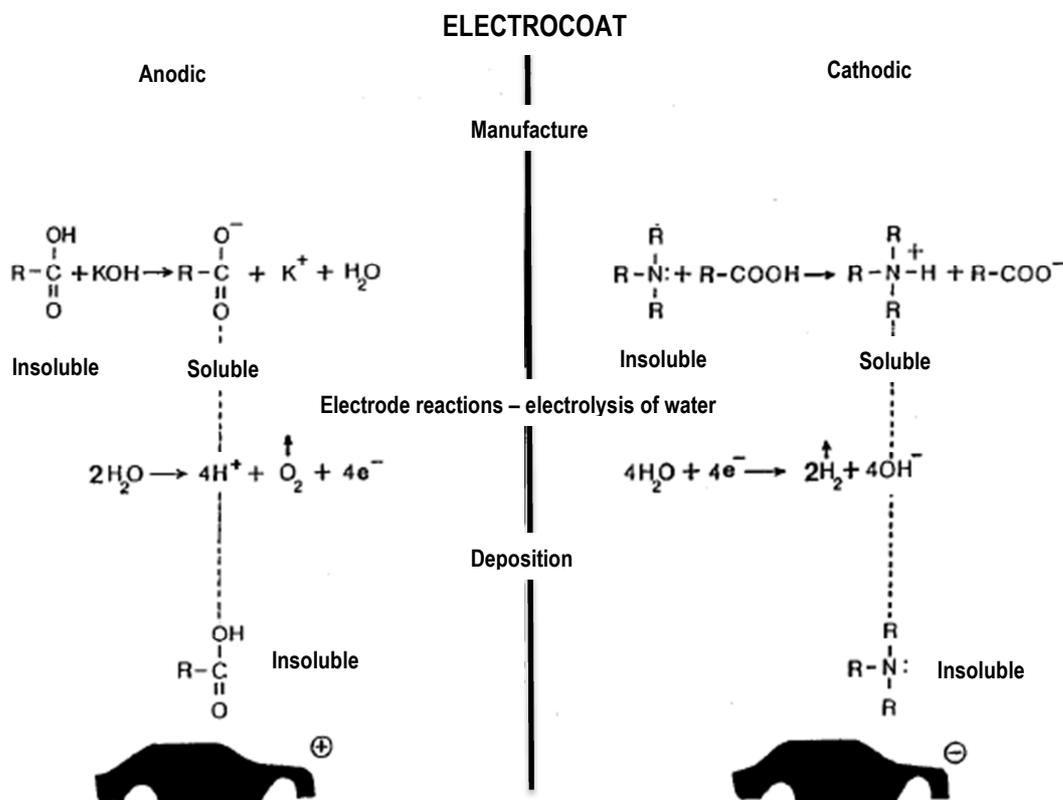


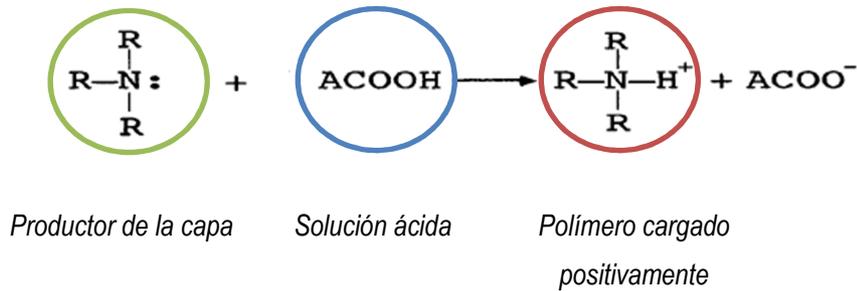
Figura 3: Comparativa entre los dos tipos de electrodeposiciones (Fettis 1995)

3.1.2.1. Reacciones Producidas en el Baño

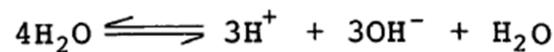
Ambos procesos de electrodeposición tanto anódica como catódica se rigen por procesos electroquímicos basados en electrolisis, electroforesis y electroendosmosis, dado que cada proceso contiene un componente ácido y alcalino. El componente alcalino es el ánodo y el ácido es el cátodo. Estos son parte esencial del proceso pero no forman parte de la película adherida. Actualmente son los procesos catódicos los que están en uso, por lo que nos centraremos en esta tecnología.

La electrodeposición se basa en los siguientes procesos:

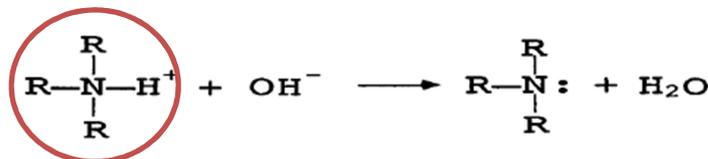
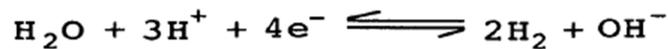
1. Disolución del componente resultante en la capa protectora:



2. Electrólisis

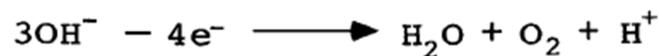


3. Reducción del cátodo:



Polímero Soluble

4. Oxidación del ánodo:



H⁺ es eliminado mediante electrolisis ver (Figura 3)

3.1.2.2. Electrodeposición

En la electrodeposición la carrocería a tratar se carga con signo opuesto a la primera película que será la que esté en contacto con el medio acuoso bajo la influencia de la corriente eléctrica.

En los inicios del proceso de deposición, el grosor de la película aumenta muy rápidamente, pero a medida que el proceso alcanza un determinado espesor, la resistencia eléctrica aumenta bruscamente en relación a dicho espesor, hasta que finaliza su deposición. Como consecuencia, la corriente disponible disminuye con el aumento de la resistencia generada por la película, la insuficiencia de protones hace alterar el pH y por lo tanto provoca la precipitación del polímero. En esta etapa la electrodeposición prácticamente finaliza.

En el proceso anódico las superficies de la carrocería más cercanas al cátodo se cubren primero. A medida que el espesor de la película aumenta, la resistencia en esas áreas hace que la corriente se distribuya a otras más lejanas hasta que el cuerpo está totalmente cubierto. Este efecto asegura que el proceso sea progresivo, incluso en las cavidades internas.

El componente alcalino que se libera durante la deposición por electrólisis se acumula en el baño de pintura, ya que no forma parte de la película depositada, si no se quita este componente alcalino, el baño aumentará su alcalinidad y no podrá producirse la deposición del polímero en los sucesivos procesos. El control de esta alcalinidad es conseguida mediante el uso de membranas de intercambio iónico selectivas alrededor del electrodo, proceso conocido como electrodiálisis. El componente alcalino se retira del baño pasando por la membrana semipermeable, mientras que los aniones permanecen al otro lado.

Los diferentes métodos de control del pH, han dado lugar al uso de una gran cantidad de polímeros, medios de neutralización e instalaciones.

Una vez finalizado el proceso de cataforesis, con el fin de conseguir una alta eficiencia en el proceso debemos retirar el exceso de pintura no depositada mediante baños de limpieza suave y el posterior escurrido.

Parámetros	Cataforesis
% sólidos en baño	20 - 25%
Temperatura del baño	22 - 28°C
Voltaje	250 - 300V
Tiempo de deposición	2 - 3 min
pH a 27°C	6 - 6,8
Conductividad específica	1000 – 2000mS/Cm ⁻¹
Campo magnético	25 - 35 mgms/cm ⁻¹
Poder de penetración	18 - 35 cm
Espesor	18 - 35 μm
Tiempo de curación	20 min
Temperatura de curación	140 °C

Tabla 2: Parámetros operacionales en cataforesis (Peirón 2012)

3.1.3. Post-lavado

El proceso de cataforesis es un bucle cerrado donde al finalizar el baño, toda la cantidad de producto no adherida a la carrocería es recuperada en fases posteriores, con el fin de mantener una eficiencia prácticamente máxima en el sistema. Una vez que abandona el tanque, parte de la cataforesis contaminada cae, ésta será filtrada y entrará de nuevo al sistema. Este mismo procedimiento se producirá en el agua de los diferentes enjuagues. El enjuague final está formado por agua desionizada limpia. Una vez aclarada, la carrocería pasa por una fase de drenaje en el cual se escurre agitándola o soplándola, con el fin de evitar manchas exteriores o gotas que producirán defectos durante el horneado. (Ver Figura 4)

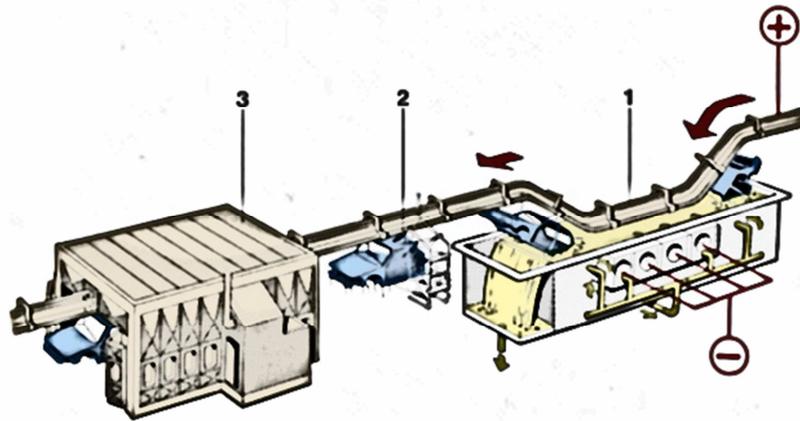


Figura 4: Proceso de electrodeposición (1), escurrido (2) y horneado (3) (Fiat 2010)



Figura 5: Chapa metálica, fosfatado, cataforesis (Autor)

3.1.4. Horneado

El proceso de horneado, es el proceso que culmina el tratamiento superficial, y tiene como fin polimerizar la capa de cataforesis aplicada previamente, con el objetivo de que al secar, endurezca, obteniendo sus propiedades de protección química y resistencia mecánica.

El horno del proceso debe ser homogéneo en temperatura a lo largo de la longitud del túnel para que el calor se aplique en la carrocería por igual. Para ello, se usan estufas de convección de aplicación indirecta, con el fin de que los gases y restos de combustión producidos por el quemado del combustible no se incorporen a la pintura y no ensucien el interior del horno.

Al realizar un secado a altas temperaturas producimos evaporación de gases provenientes de los productos usados, estos contienen principalmente éteres de glicoles además de otros más pesados como olefinas polietoxiladas derivadas de resinas epoxídicas. Esos gases pueden producir problemas a la hora de la adhesión entre las capas aplicadas, por lo que debemos monitorizar en todo momento los parámetros de CO, CO₂, NO₂, NO₃ y SO₂.

Como hemos comentado anteriormente, la aplicación debe ser indirecta, esto provoca que el calentamiento del aire se realice fuera y por convección se transmite al interior del horno. La temperatura debe estar en torno a 140°C y, aunque depende de cada producto y fabricante, alrededor de 20 minutos.

En toda la longitud del túnel la temperatura no es constante, sino que está dividido en zonas, una primera de subida y otra de polimerización. Es recomendable que cada una de ellas dure 10 minutos, con el fin de que no tengamos sobreestufado en el exterior de la capa y bajoestufado en el interior. Debemos tener en cuenta además que los cuerpos huecos tienen que estar adecuadamente estufados.

3.2. Másticos

La aplicación de selladores en las uniones entre chapas y protectores en los bajos, es parte complementaria a la fase de tratamiento superficial, ya que el área entre uniones soldadas y el bajo caja puede debilitarse debido a factores externos. Por lo tanto al fijar el llamado mástico conseguimos una total protección en medio de las chapas.

Hoy en día es una estación prácticamente automatizada. La experiencia con los robots de sellado para la aplicación de mástico fue uno de los primeros proyectos de automatización de procesos que se produjeron en las fábricas, sobre todo en la aplicación de mástico antivillonado en los bajos del coche que hasta 1970 se aplicaba de forma manual.

Las principales razones de la robotización de este proceso siguen vigentes hoy en día: la humanización del trabajo y la reducción de sobrecarga en posiciones no ergonómicas. La experiencia inicial con los robots llevó a un fuerte crecimiento y a su rápido desarrollo en cada uno de los puestos de aplicación de PVC en el coche, tanto en puertas como en interiores.

En interiores, puertas y en general zonas de unión usamos una pasta blanca de PVC llamada mástico de estanqueidad, con el fin además de proteger las uniones, hacer estanco el habitáculo a olores y líquidos entrantes de la zona exterior. Los primeros robots utilizados para estas tareas fueron en la década de 1980, y la experiencia no fue buena, lo que produjo una ralentización en el desarrollo de esta tecnología sobre todo en interiores.

Con el paso del tiempo los productos de sellado, la soldadura y la tecnología de automatización fue mejorando consiguiendo al fin un alto nivel de automatización consiguiendo la aplicación de los selladores de forma sencilla y rápida.

El método de aplicación del sellado es uno de los factores que más determina la calidad del proceso, sobre todo en la calidad del sellado y la calidad percibida del cliente en las zonas vistas. Una boquilla más precisa nos permite una pulverización más homogénea y estética. Boquillas planas producen cordones extruidos totalmente estéticos. Otros factores a la hora de la aplicación son la presión de aplicación y el volumen de producto adherido.

Actualmente se desarrollan estaciones con visión artificial lo que permite al autómatas seguir la línea de soldadura dando así un cordón perfecto. Pequeños manipuladores que permiten abrir puertas evitando así las operaciones manuales.



Figura 6: Aplicación de mástico de estanqueidad (revocoat.com)

3.2.1. Material: PVC plastisol

PVC (cloruro de polivinilo) y más concretamente los selladores de plastisol, se consideran los selladores más utilizados en la fabricación de automóviles, camiones y autobuses. Un vehículo incorpora plastisoles de PVC en muchos lugares, pero en general su uso se divide en tres categorías:

- ✓ El sellado del cuerpo contra la entrada de viento,
- ✓ La lluvia, el polvo y el ruido, la mejora de la calidad del coche y el amortiguamiento del sonido, así como la reducción de *flutter Hood*.
- ✓ La protección contra la corrosión con recubrimientos por debajo de la carrocería.

Para el sellado del cuerpo, los plastisoles rellenan las juntas y las uniones entre los paneles de la carrocería, chasis, juntas de techo, uniones en los pilares laterales y pilares medios, en las uniones soldadas, uniones en las esquinas de la puerta, y en la propia carrocería. También se utilizan para sellar las juntas en varios subconjuntos tales como el panel donde está alojado el volante.

El PVC es una composición de plástico de vinilo y aditivos que proporcionan un fácil recubrimiento además de que la capacidad de moldeo y aplicación de sea elevada. Plastisol es un material 100% sólido. La mayoría de los plastisoles utilizados en automoción son de viscosidad media (con una viscosidad entre 1.000 y 10.000 centipoises a 2,5 rpm en el viscosímetro *Brookfield*). Variará dependiendo del área del coche donde vayan a ser aplicados.

El PVC plastisol es muy versátil y ofrece numerosas formas de aplicación como hemos podido apreciar anteriormente. Una vez curados o incluso mezclado con otros productos obtenemos prácticamente las mismas propiedades asociadas con otros vinilos, es decir, flexibilidad, tenacidad, estabilidad al aire libre y resistencia a la abrasión y a los ataques químicos. Además pueden añadirse diversos aditivos con el fin de mejorar estas propiedades o mejorar las necesidades de procesamiento.

El curado o fusión del material es un cambio físico de la resina al reaccionar con el calor. El proceso de fusión cambia el plastisol de su estado viscoso a un estado sólido obteniendo así las propiedades finales. Cuando alcanzamos el curado obtenemos una resistencia a la reacción y una resistencia al desgarrar máxima. Todo esto se produce a 145°C y es una reacción irreversible, una vez curado no podemos volver al estado inicial.

El uso de plastisol está asociado a la reducción de espesor conseguida con este producto en contra de aquellos con contenido epoxi. Esta reducción de espesor con las mismas propiedades hace que el peso aplicado disminuya por consiguiente el peso del coche final se verá reducido.

Uno de los pocos inconvenientes de este producto es la posibilidad de que recojan humedad a lo largo del proceso de aplicación lo que nos producirá burbujas en el curado y por lo tanto un defecto.

3.2.2. Aplicación de másticos

El objetivo de los másticos como ya hemos visto es asegurar la estanqueidad contra el agua, polvo y todo aquel agente externo además de garantizar la resistencia anticorrosiva impidiendo que el agua por capilaridad entre en las uniones de chapa deteriorándola.

Generalmente los talleres de másticos van completando cinco zonas, cuatro de ellas de aplicación y la última un horneado de pregelificado. El gelificado, que así se llama al curado total, se producirá en el fin del proceso de todos los hornos del proceso de pintura, no solo en el de mástico.

3.2.2.1. Aplicación de masillas en bruto

Sellado de hueco motor: proceso típicamente manual aunque se están desarrollando procesos automáticos. Consiste en el sellado extruido de las uniones del hueco motor con la caja de aguas y todo aquello que comunique con el interior de habitáculo.

Interiores: proceso automatizado y por extrusión, de las uniones interiores que comuniquen con el exterior, evitando así la entrada de humedad. Esta masilla llega a cubrir uniones de hasta 1,8mm de sellado y al que si el área lo requiere se le aplicará un segundo cubriente de PVC. Al ser en bruto y en extruido solo se podrá realizar en zonas no vistas.

Exteriores: completa el proceso anterior. En las zonas vistas, los cordones de másticos serán aplicados cuidadosamente con el fin de dar una forma que cumpla los estándares de calidad percibida, al igual que en las esquinas se trabajará con una paleta, con el fin de darle un acabado superficial de calidad.

3.2.2.2. Sellado y protección de bajo caja

Sellado de uniones, bajos y pasos de rueda: aplicación robotizada

Antigravillonado: es una aplicación robotizada y pulverizada. Consiste en una masa de PVC con el fin de que las zonas expuestas a la grava, abrasión y proyección de piedras sean protegidas.

3.2.2.3. Aplicación fina de masillas

Sellado de uniones exteriores: los eventuales defectos se limpian con papel. La masilla utilizada, de bajo límite de fluencia, (autonivelable) se utiliza en zonas del techo que requieran un bajo espesor y un buen acabado visual.

Sellado de elementos móviles: sellado manual por extrusión del perímetro de los elementos móviles como puertas, portón delantero y trasero, mediante la aplicación de un cordón plano y posterior repaso de los extremos con paleta de goma o pincel. Los eventuales defectos se limpian con papel, este paso es fundamental para no dejar restos que causen problemas en posteriores estaciones.

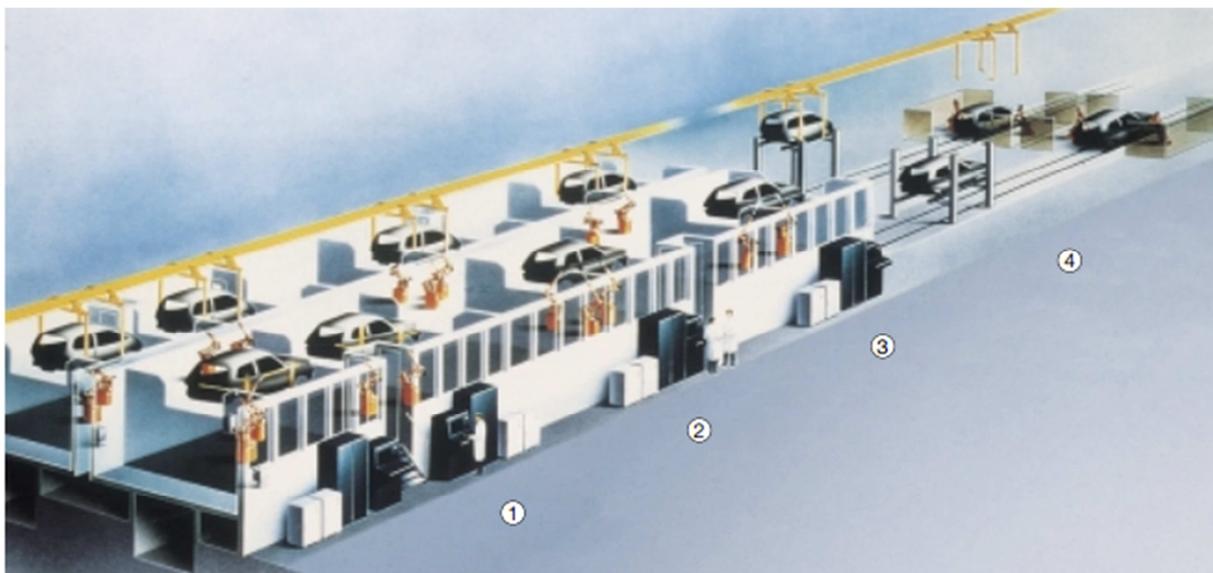
3.2.2.4. Horneado

La última etapa del taller de másticos es el horno donde se procede al pregelificado de las masillas con el fin de solidificar la masilla pastosa aplicada y evitar roces en los trabajos en línea posteriores. Para ello se utiliza un horno de convección con el siguiente ciclo de estufado durante 15-20 minutos en el que encontraremos una sección de precalentamiento a 145°C durante 3 minutos, de ahí mantendremos la carrocería a esa temperatura durante 8 minutos y por último atemperaremos la carrocería a 38°C durante 3 minutos más.

El gelificado completo como ya hemos comentado se hará en los hornos posteriores en el taller de pintura. En el caso de realizar el proceso por el método estándar la gelificación se realizara en el horno posterior al apresto o imprimación. Si el procedimiento usado es el de "3 wet" el gelificado se finalizará en el honor de secado de lacas.

3.2.2.5. Insonorizante y otros elementos

Aunque no es propiamente un elemento de pintura la colocación de paneles de insonorización en el interior siempre ha sido una tarea realizada en el taller de pintura. Otra de las tareas asignadas en esta etapa es la colocación de tapones, pegatinas y elementos en los orificios que sean necesarios durante la etapa de cataforesis pero que si no son tapados podrán dar problemas posteriores de corrosión. Además se colocarán fundas en pernos para evitar la deposición de masilla y pintura.



Esquema de un proceso de aplicación de masticado bajo caja y de estanqueidad.

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Estanqueidad en bajo caja | 3. Estanqueidad con un espesor característico |
| 2. Estanqueidad general | 4. Antigraillonado |

Figura 7: Proceso de aplicación de masticado (ABB.com)

3.3. Lacas y Barniz

En una línea de pintura comercial, generalmente se requieren dos procesos diferentes; el primero de ellos es un triple revestimiento completo correspondiente a lo que podríamos llamar imprimación y el color, la segunda corresponde al barniz, pintura monocapa con una sola aplicación superior. Obviamente, la complejidad del proceso hace que no podamos procesar toda la producción por una sola línea y generalmente las los procesos están desdoblados para una optimización a su llegada a montaje.

La disposición estándar de un taller de pintura se e basa en una línea secuencial. Los vehículos irán pasando de forma continua o secuencial dependiendo de la estación. En cada fase, cada capa se ira superponiendo a su sucesora hasta conseguir el acabado final mediante barniz.

Hasta ahora la mayoría de los constructores usaban un procedimiento estándar (Figura 8), la aplicación de un apresto el cual formaba una capa tersa y protectora preparando la carrocería para los posteriores procesos de coloreado y barnizado. Este apresto necesita ser secado antes de la aplicación de pintura.

Recientemente, se están imponiendo las tecnologías “X wet” (Figura 9), estos procesos consisten en la aplicación de pintura (imprimación, capa base y capa transparente) de forma consecutiva, es decir sin secado intermedio. Toda la película se cura en un secador una vez aplicada la última fase. Con ello conseguimos eliminar el horneado del apresto lo cual supone un ahorro económico y energético.

El uso de pinturas al agua es otro de los cambios por los que la industria de la automoción está apostando. Con ello además de adaptarse a las normativas medio ambientales conseguimos un ahorro de disolvente ya que estas son pinturas al agua mucho menos agresivas que las anteriores lo que conlleva.

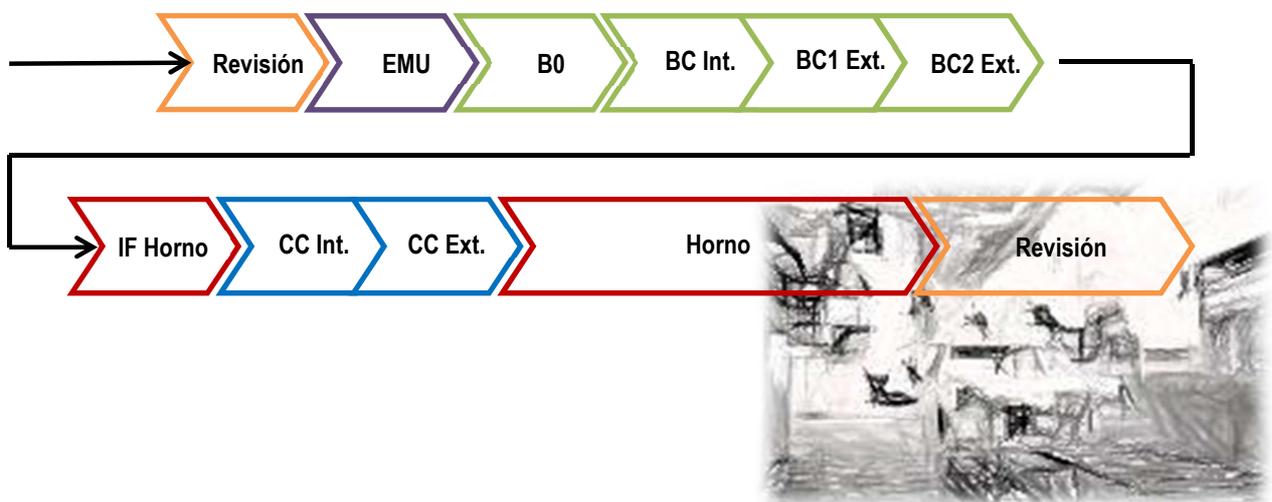


Figura 8: Disposición de un taller de pintura “wet” (Autor)

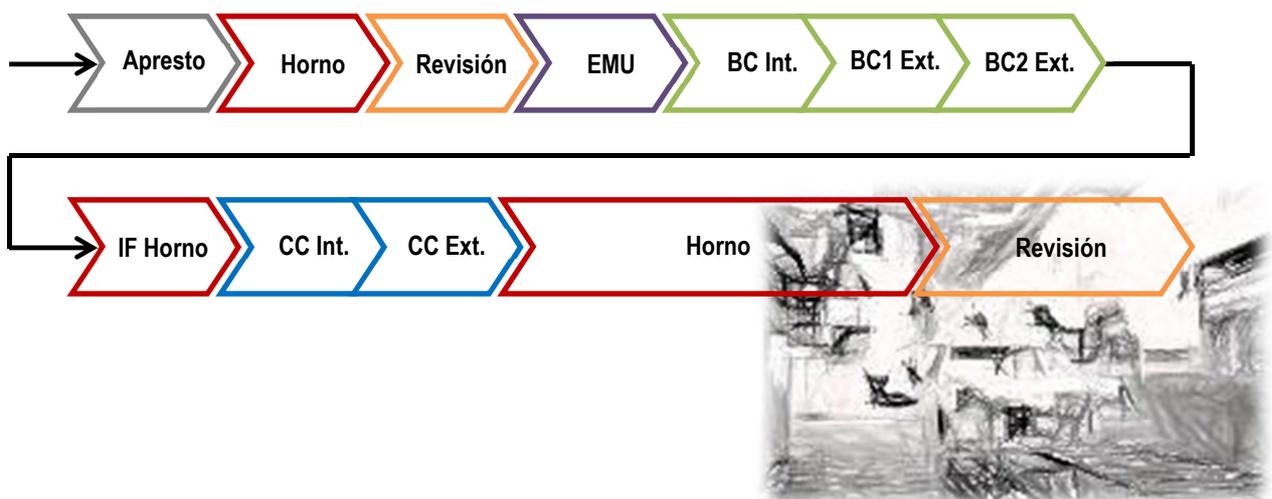


Figura 9: Disposición de un taller de pintura estándar (Autor)

3.3.1. Apresto (Base disolvente y Base en polvo)

A pesar de haberse desarrollado sistemas de imprimación y tecnologías más sofisticadas que proporcionan mejores acabados, los aprestos siguen ocupando un lugar muy importante en la industria de la automoción, al ser una tecnología muy desarrollada, lo que proporciona fiabilidad y robustez en su utilización. Esta técnica empezó en la década de los 60 y ya en los 70 llegaron las primeras aplicaciones electrolíticas. Desde entonces su desarrollo ha sido imparable, con el fin de obtener mejores acabados, satisfaciendo las necesidades del cliente y adaptarse a las, cada vez, más estrictas normas gubernamentales.

En la década de los noventa, 40 millones de vehículos se fabricaron con esta tecnología. Esto supone alrededor de 150 millones de litros de apresto aplicados, una cantidad bastante considerable. De toda la pintura aplicada durante el proceso el 20% corresponde a imprimación. Esto supone que durante esta década se usaron entre 750 y 800 millones de litros de pintura.

La aplicación de apresto se realiza de tres formas; *spray*, *dip priming system*, o mediante *electro-priming system*, siendo esta última la que se utiliza actualmente.

Las principales cualidades que debe tener una imprimación parten de unas buenas propiedades mecánicas tanto en resistencia al impacto (grava) como flexibilidad. Resistente al agua y la humedad, además de a los rayos ultravioletas. Debe ser posible el lijado y el retocado si lo hubiera. Flexible a diferentes métodos de aplicación. Por último su eficiencia durante la aplicación tiene que ser máxima lo que repercutirá en su economía.

Todo apresto está formado por 4 componentes básicos (prácticamente los mismos en etapa de color):

- ✓ Aglutinante, resina o polímero, que mantiene unidos a los otros componentes antes de la aplicación para formar una película duradera en la superficie donde se aplica el recubrimiento.
- ✓ Pigmento, que oculta el sustrato, proporciona un color decorativo y puede mejorar las propiedades deseadas del recubrimiento, como la resistencia a la corrosión.
- ✓ Disolvente, que ajusta la viscosidad del aglutinante y permite la fluidez para una aplicación eficiente. También proporcionan una serie de características.
- ✓ Aditivos, que cambian la formulación.

3.3.1.1. Aglutinantes

Los aglutinantes, resinas o polímeros tienen dos propósitos esenciales en un revestimiento. Como el mismo nombre dice el primer fin, es el de mantener o aglutinar todos los componentes entre sí antes, durante y después de la aplicación. Una vez en la superficie y durante el proceso de curado en horno, las moléculas de aglutinante se unen para formar una película protectora dura y totalmente lisa, que protege la superficie sobre la que se ha aplicado y la prepara para su posterior coloreado. Esta superficie es lo que llamamos apresto.

Durante siglos, los aceites derivados de las plantas han sido utilizados como aglutinantes. Desde el siglo XX el uso de los aglutinantes sintéticos ha reemplazado de forma radical estos aceites. Los aglutinantes sintéticos pueden ser formulados para tener las propiedades deseadas, como puede ser un secado más rápido, mejor durabilidad del revestimiento o protección ante la corrosión. A día de hoy todas las capas de pintura aplicadas en automoción son polímeros.

En algunos compuestos las moléculas polimerizan antes del curado, en otros durante el curado. Pero al final en todos ellos se forman enlaces químicos entre las moléculas adyacentes, este proceso es el que llamamos reticulación. Esta es la responsable de la dureza de la capa superpuesta.

Los aglutinantes se clasifican dependiendo de cuando sus moléculas polimerizan, es decir, antes o después de la aplicación. En los aglomerantes convertibles, el producto no polimeriza o prácticamente no lo hace hasta que se somete, al proceso de curación en el horno. Tradicionalmente era la resina alquídica la más utilizada pero actualmente resinas fenolíticas, de poliuretano o de silicona son las que han ido sustituyéndola hasta dejarlas sin uso en la automoción.

- ✓ **Resina alquídica:** están basadas en resinas producidas por la reacción de un alcohol (glicerol, glicol...) y un ácido dibásico (anhídrido ftálico generalmente) y modificado con un aceite natural o un ácido graso, para dar el equilibrio adecuado, con el fin de obtener las propiedades deseadas una vez realizado el secado. La reacción de reticulación para formar la película plana se produce entre melamina-formaldehído condensada, envuelta en grupos de N-methylol o sus éteres.
- ✓ **Resinas éster-epoxi:** fueron reemplazando a las anteriores debido a su mejor rendimiento. Los grupos epoxi terminales y los grupos hidroxilo secundarios reaccionan con los ácidos grasos para producir ésteres epoxi. Una vez secado en el horno, la combinación de la resina de nitrógeno forma una película perfectamente plana y adherida a las anteriores, muy flexible y resistente. La principal desventaja de la resina éster-epoxi es su inestabilidad a los rayos UV, lo que produce problemas de desconchado en pinturas de acabado metálico.
- ✓ **Poliéster:** son los más utilizados en los aprestos actuales. Por lo general son poliésteres hidroxilados saturados funcionales y están hechos de una variedad de ácidos grasos sintéticos adecuadamente equilibrados para dar las propiedades necesarias. Los poliésteres solucionan el problema de los ésteres frente a los rayos UV, razón por la cual desbancaron a los anteriores. La utilización de poliuretano ha completado una mejora sustancial en este tipo de resina.

El otro tipo son los aglutinantes no convertibles que se polimerizan antes de la polimerización, pero están disueltos en un medio que se evapora después de aplicado, dejando así una película continua. Los más frecuentes son la resina de celulosa, resina acrílica, o resina de vinilo. Estas son menos usadas en el mundo de la automoción siendo caras y con rendimientos más bajos que las anteriores.

	Alquídica	Ester-epoxi	Polyester
Mecánicas	Pobre	Muy buena	Buena / Muy buena*
Adherencia	Pobre	Buena	Muy buena
Durabilidad	Buena	Muy buena	Muy buena
Polvo	Buena	Pobre	Muy buena
Alisado	Muy buena	Pobre	Buena
Lijabilidad	Pobre	Muy buena	Muy buena
Compactado	pobre	Muy buena	Muy buena

* Modificado con PU

Tabla 3: Propiedades de los aglutinantes (Fettis 1995)

3.3.1.2. Pigmento

El pigmento es una pintura que se compone de partículas sólidas de tamaño uniforme y las cuales permanecen insolubles en el aglutinante. Su función no es otra que ocultar el sustrato, dándole un color decorativo que servirá además de base para el color final además de proporcionar otras cualidades como protección a la corrosión o resistencia a la grava.

Un factor fundamental en la dispersión del pigmento es la concentración en volumen del pigmento o PVC (*pigment volume concentration*). El PVC se define como el porcentaje en volumen de la película curada que es en realidad pigmento, en comparación con el aglutinante y los aditivos. Cuando las partículas de pigmento están en contacto unas con las otras una vez aplicadas en el vehículo, diremos que la concentración es crítica.

Los tipos de pigmentos que se han usado en automoción son muy diferentes pero todos ellos pueden ser divididos en las siguientes categorías.

- ✓ Pigmentos coloreados
 - Pigmentos naturales, tales como óxido de hierro rojo y óxido de hierro marrón.
 - Pigmentos sintéticos los cuales son innumerables.
- ✓ Pigmentos blancos, tales como dióxido de titanio y óxido de zinc.
- ✓ Pigmentos funcionales que proporcionan resistencia a la corrosión, resistencia al deslizamiento, u otras propiedades deseadas.

3.3.1.3. Disolvente

La función del disolvente no es otra que reducir la viscosidad del aglutinante, con el fin de mejorar la fluidez consiguiendo así una mejor aplicación mejorando su uniformidad en el recubrimiento.

Los disolventes se clasifican de acuerdo con el efecto que tienen:

- ✓ Un disolvente activo se disuelve en el aglutinante y reduce rápidamente su viscosidad.
- ✓ Un diluyente, cuando se añade a un disolvente activo, se extiende por toda la disolución debilitando el poder de disolución del disolvente activo.
- ✓ Un solvente, se extiende por la disolución pero no debilita la capacidad de disolución del disolvente activo.

3.3.1.4. Aditivos

En general los fabricantes agregan aditivos a los aprestos con el fin de mejorar las características de aplicación y mejorar las propiedades del revestimiento final. El volumen que se añade de aditivos es mejor al 2% pero afectan la composición final de una manera notoria. Los más usados son los tenso-activos que hacen obtener una capa completamente lisa preparando la superficie para posteriores aplicaciones, esto hace además que se disperse el pigmento uniformemente.

3.3.2. EMU

Antes de la aplicación de la pintura, el polvo fino y cualquier imperfección proveniente de etapas anteriores deben ser eliminados, ya sea una gota de sellador o una mota de polvo, ya que cualquier tipo de partícula causa defectos en la capa de pintura. Para ello además de una revisión manual de limpieza y retoque de imperfecciones, antes de introducir nuestra carrocería por el túnel de pintado utilizamos un sistema de limpieza con plumas de avestruz hembra para garantizar el acabado de la superficie. Este sistema de limpieza consta de 3 etapas:

- ✓ Una pre-ionización cuando la carrocería del vehículo se somete a un flujo de aire ionizante, esto descarga la superficie.
- ✓ El techo y los lados de la máquina están formados por rodillos de plumas, estos giran por encima de las superficies con el fin de que las partículas de suciedad se ionicen y queden fuera de la superficie siendo retenidas por las plumas. Un sistema de aspiración limpiará las plumas posteriormente.
- ✓ La Post ionización se realiza cargando el cuerpo de nuevo evitando así nuevas acumulaciones de suciedad.

Los rodillos de plumas pueden eliminar partículas menores de 10 micras de tamaño.

3.3.3. B0 Imprimación (Bases al agua)

El B0 o imprimación corresponde al apresto en un proceso 3wet. La peculiaridad del B0 es que no es horneado en un proceso intermedio sino que una vez aplicado, pasa directamente a la siguiente aplicación de base y seguidamente a la de barniz, sin pasar por un horno de secado intermedio. Otra de las ventajas es el uso de disolventes al agua lo que lo hace mucho más eficiente y ecológico.

El desarrollo de materiales de imprimación o *primer* de calidad para la producción en serie se ha visto influida principalmente por los siguientes factores:

- ✓ Las nuevas técnicas de pintura como “3wet”.
- ✓ La mejora de la calidad en la embutición de los materiales.
- ✓ Las nuevas tecnologías de acabado.
- ✓ Alta calidad en los estándares de fabricación.
- ✓ Nuevos métodos de aplicación, mejorando el proceso haciéndolo más eficiente y económico.
- ✓ Los altos requisitos gubernamentales para unas condiciones de contaminación bajas.

Los primeros *primer* se formularon para conseguir un alto espesor, entre 40 y 50 pm) con resultados altamente porosos con concentraciones de PVC de 35 a 50%. Esto hacía que las aplicaciones necesitaran un lijado, que en muchas ocasiones se realizaba húmedo y con la mano con el fin de conseguir una superficie aceptable.

Desde hace unos años el proceso 3wet está tomando fuerza en los constructores de producción como podemos ver en la Figura 10. En Europa es el proceso más desarrollado pero que va tomando fuerza en otros continentes debido a las grandes exigencias medioambientales a las que son sometidas las fábricas.

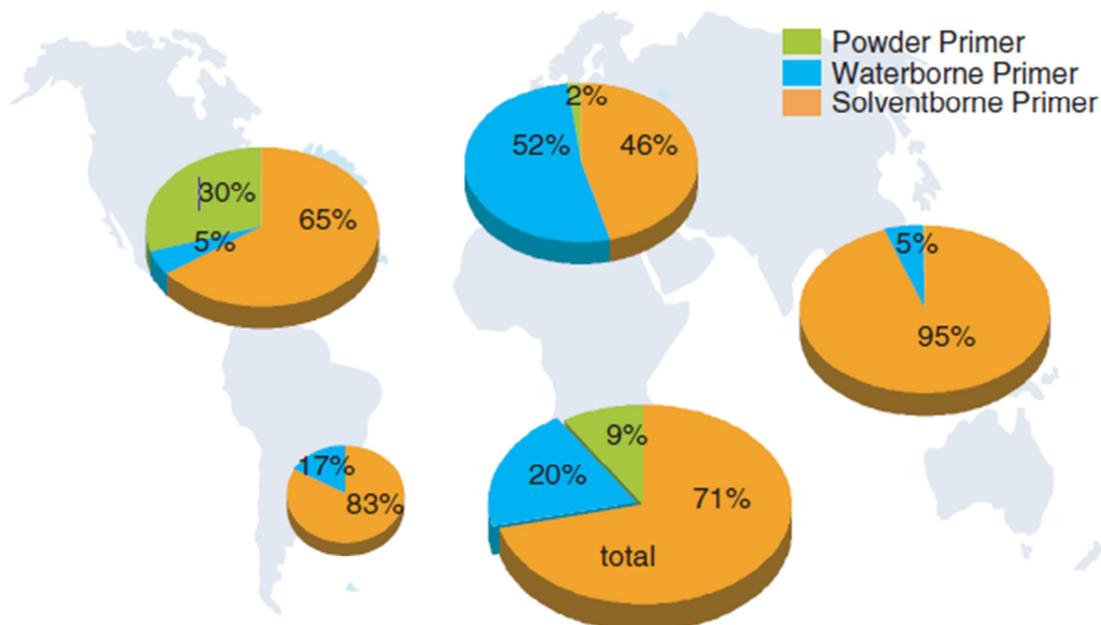


Figura 10: Utilización de *primers* por continente (2003) (Viley VCH)

La producción de este tipos de imprimación consiste en la mezcla de los pigmentos y extensores que lo componen (dióxido de titanio, carbón negro, sulfato de bario y talco) con alguno de los poliésteres que se usan en la industria de la automoción además del disolvente que es agua. Los productos se mezclan previamente y se filtran por un mallado hasta que el tamaño es menor a 12 micras. Agua desionizada es utilizada para ajustar el contenido en sólidos. La composición de la superficie de imprimación en base al agua la podemos ver en la siguiente tabla.

Componentes	nfA wt-%	Formulación wt-%0
Poliéster (35%)	6,3	18,0
Antiespumante		0,2
Agua desionizada		4,3
DMEA		0,1
Dióxido de titanio	11,2	11,2
Blanc fixe	11,0	11,0
Talco	1,3	1,3
Carbón negro	0,1	0,1
Dispersión < 12, añadimos:		
Poliéster (35%)	2,1	6,0
Poliuretano (40%)	16,0	40,0
Resina HMMM (100%)	4,0	4,0
Agua desionizada		4,0
Total	52,0	1000,0

Tabla 4: Propiedades de la imprimación con base al agua (Viley VCH)

La formulación con agua en este tipo de *primers* hace que cambie la forma de trabajar con ellos respecto a los aprestos convencionales. La superficie de imprimación transmitida por el agua tiene un contenido en sólidos de 52% en peso, y contiene tan solo un 4,8% en peso de disolvente. El valor de pH está entre 7,8 y 8,0 y la viscosidad es de 120 segundos (DIN35II, diámetro 4mm a 20°C). Para la aplicación por pulverización, la viscosidad puede reducirse prácticamente hasta 25 segundos. La superficie de la imprimación en general, es pulverizada electrostáticamente sobre las carrocerías del coche. Las condiciones de evaporación del disolvente son de 10 minutos a 23°C y otros 10 minutos extra a 80°C. Las condiciones de secado en horno son 20 minutos a 160°C. El grosor de la capa de imprimación resultante es de 35 micras.

Como evaluación final, debemos fijarnos en la capacidad de estiramiento de la aplicación, cuanto más estire la capa será más lisa por lo que las posteriores aplicaciones serán muy uniformes. Debe ser lo más elástica posible ya que posteriormente se harán test con el fin de ver la resistencia contra la grava, adherencia...

3.3.4. Color

Los productos de color, tienen pocas diferencias con los anteriores. La base de color lleva una serie de pigmentos que le proporciona el resultado final.

A diferencia de los pigmentos en las capas de barniz y en las imprimaciones, los pigmentos en la base de color no solo se utilizan para dar tonalidad, sino que es fundamental para el rendimiento mecánico de la película. Esto, se ve reforzado por el uso de extensores que perjudican al poder de cobertura y complica obtener la tonalidad del color necesaria, pero que son necesarios para obtener la máxima calidad en la capa de barniz y por lo tanto en el brillo final del coche. Los pigmentos a su vez aumentarán al brillo, la resistencia a grava y la reología. Debido a la demanda de una gran cantidad de colores las desventajas tienen una importancia secundaria.

El tipo, la cantidad y la calidad de los pigmentos son factores que afectan a la pintura y a su resultado final. Además de la resistencia climática tienen que pasar otras pruebas como resistencia a la humedad, y sobre todo a las que se refieren a propiedades mecánicas. El producto ofrecerá una gran resistencia a la grava cuando la cohesión y la adhesión estén equilibradas en el mismo producto y entre capas. Con el fin de perder la adhesión, el talco suave puede ayudar a conseguir un freno en la cohesión. Por otro lado el propio pigmento es el que da propiedades mecánicas altas como en el caso de TiO_2 .

Un pigmento se diferencia del extensor en el índice de refracción. Cuanto mayor sea la relación entre los índices de refracción del pigmento y el del extensor mejor será el poder cubriente y por tanto la calidad del color acabado. Si esta proporción es cercana a uno, el resultado será más transparente. Además cuanto menor es la cantidad de pigmento, más cantidad de otros componentes habrá, por lo que el resultado será mejor, en detrimento del aspecto visual del color.

3.3.4.1. Pigmentos más usados (blanco y negro)

Dióxido de titanio: El dióxido de titanio con una densidad de 4,1 a 4,1 gcm^{-3} es el pigmento blanco más importante. Debido a su alto índice de refracción, TiO_2 tiene un poder cubriente muy alto y debido a la dureza que proporciona ofrece una gran resistencia a la grava. Este pigmento se extrae de la ilmenita negra. Buenas propiedades extensoras.

Sulfato de Bario: El sulfato de bario, con una densidad de 4,1 gcm^{-3} es otro de los pigmentos más usados. Se produce como barita natura y precipita en forma de sulfato de bario de alta pureza. El proceso de precipitación da la posibilidad de ajustar tamaños de partículas. Tiene buenas propiedades extensoras y a diferencia del dióxido de titanio el coste es mucho menor.

Dioxido de Silicio: El dióxido de silicio tiene una densidad de 2,2 gcm^{-3} Es un magnífico extensor pero debido a su tendencia a interactuar con otras sustancias tiene un efecto directo en la reología final. Es usado para bases de aspecto mate.

Feldespatos: Con una densidad de 2,6 gcm^{-3} es químicamente hablando un aluminosilicato. Su uso está extendido para pinturas de resultado metalizado.

Negro de Humo: Dependiendo del método de fabricación y de los materiales de partida los negros de humo pueden tener diferentes características específicas. Su utilización es para cualquier tipo de negro.

3.3.4.2. Pigmentos más usados (Otros colores)

El óxido de zinc (ZnO) es un pigmento inorgánico blanco sintético con un índice de refracción de 2.01.

Zinc Amarillo (Yellow 36) es el cromato de zinc (ZnCrO_4).

Los tintes amarillos son pigmentos orgánicos no tóxicos de color amarillo, muy estables y con buenas propiedades de opacidad.

Amarillos bencidina son pigmentos orgánicos con tonalidades que van desde los amarillos a los rojos. Son resistentes a productos químicos y estable a temperaturas elevadas (hasta 300°C / 150°C).

Óxido de cromo verde es pigmento inorgánico de color verde oliva con un alto nivel de opacidad. Óxido de cromo verde es el pigmento verde más estable que podemos encontrar.

Ftalocianina verde da el color verde-azul. Se utiliza en un reducido número de casos por su difícil aplicación. El pigmento es resistente al calor, disolventes y álcalis.

Ftalocianina azul es uno de los pigmentos más usados y que podemos encontrar frecuentemente en los colores azules. Proporciona un amplio espectro de colores: de rojizo - azul a verde amarillento .

Este tipo de pigmentos no son tóxicos y son muy resistentes a disolventes, productos químicos y a las temperaturas elevadas.

Azul Ultramar es el pigmento natural hecho de lapislázuli a partir de minerales semipreciosos. El pigmento es resistente a la decoloración y es estable a temperaturas elevadas.

Vermilion es un pigmento rojo anaranjado natural, que consiste en sulfuro de mercurio tóxico (HgS).

Pigmento Marrón 6 es pigmento inorgánico rojo a base de hierro (III) óxido (Fe_2O_3).

Red 170 es un pigmento orgánico sintético ampliamente utilizado en la industria del automóvil.

Dioxazina Violeta es un pigmento orgánico sintético, no es tóxico y tiene un alto poder colorante.

Hierro (II) óxido (FeO) es pigmento negro inorgánico.

3.3.5. Horno IF + Convección

En este horneado intermedio de alrededor de 8 minutos a 60°C y con una humedad relativa de 4g de vapor por Kg aire seco tiene como fin la evaporación del disolvente proveniente de la pintura evitando defectos posteriores por evaporación. La zona de radiación se utiliza como una zona de calentamiento rápido, ya que el calentamiento por infrarrojos es mucho más veloz que por convección, consiguiendo obtener la temperatura necesaria en un espacio de tiempo muy reducido. Proporcionando una ventilación adecuada, conseguimos la evaporación rápida del disolvente evitando la posterior aparición de ampollas en el horno principal. El aire contaminado resultante de este proceso, se filtra antes de entrar en la parte de convección.

En el caso de las pinturas al agua mucho más sensibles a los defectos, también tendrán aplicación en infrarrojos ya que al no tener disolventes químicos sino que son disolventes acuosos son muchos más sensibles a los defectos, por lo que igualmente deberemos evaporar parte del agua previa aplicación del barniz, ya que posteriormente no podrá salir, produciendo burbujas.

En esta segunda parte de la convección mantenemos o reducimos ligeramente la temperatura con el fin de dejar la superficie preparada para el proceso de barnizado ya que la capa debe permanecer mojada.

Horno flash off infrarrojo	Horno flash off Convección
Incremento de producción	Tiempos de flash off altos
Ocupación estación en línea menor	Ocupación en línea mayor
Bajo consumo de energía	Alto consumo energético (eléctrico y combustible)
Calor instantáneo con transferencia de energía	Calor gradual y menos homogéneo
Múltiples zonas de control de temperatura	No es posible calentamiento multizonal
No se desperdicia energía en el arranque o paro	Periodo de precalentamiento
Mínimas emisiones de CO_2	Emisiones de los quemadores
Flexibilidad en línea	Menos flexibilidad
Inversión inicial alta	Inversión inicial menor
Mantenimiento a largo plazo alto	Mantenimiento a largo plazo menor

Tabla 5: Diferencias entre horno de infrarrojo y convección (Bill 2011)

3.3.6. Barniz

Mientras que las tecnologías de aprestos y capas base son compuestos bastante homogéneos, el número de productos químicos utilizados y las formas de suministro son mucho mayores en barnices.

- ✓ SBCC1 = 1K basado en disolvente de recubrimiento transparente.
- ✓ SBCC2 = 2K basado en disolvente para PUR.
- ✓ WBCC = 1K barniz a base de agua.
- ✓ PCC = Polvo de recubrimiento transparente.

1K basado en disolvente es el barniz más usado aunque el 1K con base al agua se está imponiendo sobre todo en Europa debido a las restricciones medio ambientales.

	1k PUR MS	Carbamate HS	Epoxy acid HS	Silane HS
% en solido	42-48	50-58	50-55	54-64
VOC g l ⁻¹	380-450	250-400	300-400	100-200
Viscosidad Din4 23°C	30-35	40-60	40-60	35-40
Espesor µm	35-45	45-50	n/a	45-50
Flash off	3-8 min 23°C	3-8 min 23°C	3-8 min 23°C	3-8 min 23°C
Horneado	20 min 145°C	20 min 150°C	20 min 140°C	20 min 150°C

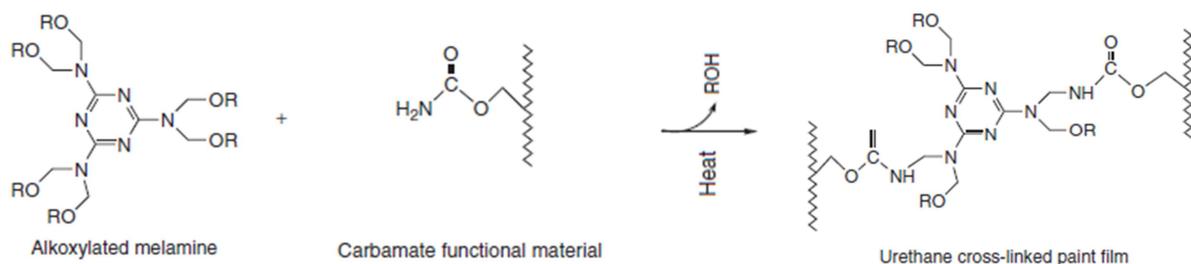
Tabla 6: Comparativa entre barnices (Adaptado Graco 2004)

Barnices 1K Acrílico melanina: Los barnices líquidos 1K son la tecnología más utilizada en la industria de automoción. Se basan generalmente en combinaciones de polioles acrílicos (Ac) y agentes de reticulación amino (MF, resinas de melamina). Tales sistemas se curan durante 12-20 minutos a temperaturas que varían entre 130-150 °C. El proceso de la reacción química mediante curado consiste en la condensación de la resina de melamina alcoxilada con el grupo hidroxilo del polioliol. Al producirse, se forma un éter de reticulación. Este tipo de unión es sensible a la hidrólisis en las condiciones de pH por debajo de 6.

El perjuicio para el medio ambiente es mínimo, sus propiedades como durabilidad, brillo y calidad hacen que junto a su buena relación coste-rendimiento, haga que sea la tecnología más usada.

El aumento de la densidad de reticulación, así como la estabilidad química de la red de enlaces Si-O-Si, conduce a una mejora en la resistencia a la corrosión y cero.

Barniz 1K basados en Carbamate-Melamine-Based: Otra tecnología utilizada para mejorar la resistencia a la corrosión se basa en polímeros con funcionalidad de carbamato primario reticulada con resinas de melamina para proporcionar revestimientos de uretano termoendurecibles. Prácticamente solo son utilizados en EEUU.



Barniz de un componente de Poliuretano (PUR): A lo largo del tiempo se fueron desarrollando los barnices de poliuretano 2K (PUR) los cuales ofrecen más ventajas sobre los 1K AcMF con respecto a la resistencia al ataque por ácido. Ésteres de malonato de dimetilo y de pirazol son los agentes de bloqueo preferidos para poliisocianatos oligoméricos basados en HDI (diisocianato de hexametileno) e IPDI (diisocianato de isoforona) para hornear bajo condiciones apropiadas. En la mayoría de los casos, estos poliisocianatos bloqueados se utilizan en combinación con resinas de melamina. Condiciones de horneado son 130-150°C.

Los barnices 1K PUR ofrecen un buen equilibrio de resistencia a la corrosión y se utilizan sobre todo por los fabricantes europeos de automóviles.

Barnices de uno o dos componentes epoxi-ácido: La reacción de endurecimiento de un polímero acrílico glycidyl-funcional con un ácido policarboxílico alifático procede para dar un poliéster β-hidroxi.

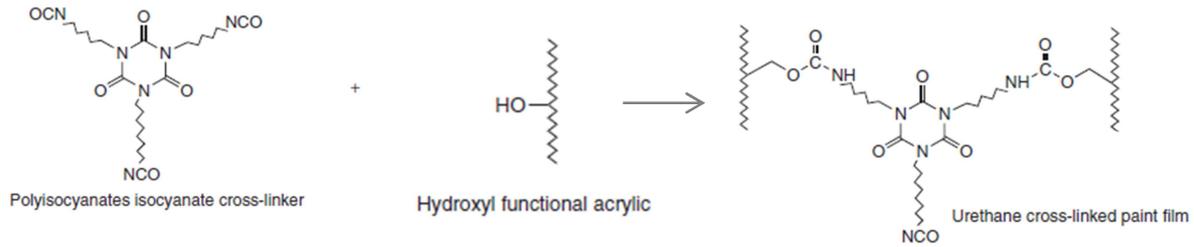
La resistencia al ataque ácido de epoxi es uno de los mejores barnices comerciales y ciertas pruebas de grabado ácido OEM específicos, por ejemplo, las pruebas realizadas por Toyota, casi obligan a esta formulación. Recientemente, la resistencia al habitual desgaste ha sido mejorada mediante el aumento de la densidad de reticulación por un mayor número de grupos funcionales en las cadenas de polímero. Cuando se formula como un sistema de 1K, la vida útil es bastante limitada. En algunos casos-epoxi-ácido y los componentes se suministran por separado (2K) en el taller de pintura. El ácido epoxy es utilizado principalmente por los fabricantes de automóviles japoneses.



Dos componentes (2K) Barniz basado en Poliuretano: Barnices de 2K basados en poliuretano son ampliamente utilizados en la industria europea del automóvil. La reacción química mediante la cual se cura el recubrimiento implica la reacción del poliisocianato con el grupo hidroxilo de un polioliol para formar un uretano de reticulación. La reactividad de la reacción de isocianato hidroxilo conduce a una vida de la mezcla de típicamente 4-8 horas, que prohíbe envases de un solo componente. Sin embargo, esta reactividad no permite que cure en un rango más amplio de condiciones de curado. Tales sistemas se curan a 120-150°C, pero también se utilizan en la reparación de hornear inferiores a 80-100°C. En contraste con los revestimientos a base de melamina-hidroxilo, la hidrólisis juega un papel menor en la degradación de un recubrimiento de uretano. Estos recubrimientos muestran mejora en la apariencia y resistencia a la lluvia ácida.

Los poliisocianatos de bajo peso molecular tienen una alta tendencia a volver a disolver la capa de base, lo que conduce a una mala orientación de los pigmentos, también descrito como moteado. En combinación con capas de base transmitidas por el agua, el efecto es pequeño ya que estos están hechos de aglutinantes de látex de mayor peso molecular, que son más estables frente a este moteado. Los polioles acrílicos y poliéster están en desarrollo para una mayor reducción de los compuestos orgánicos volátiles (COV).

En la mayoría de los talleres de pintura, la mezcla del componente de polioliol y el poliisocianato reticulante se lleva a cabo en un mezclador estático (mezclador Kenics) siendo ambos componentes bombeados en un ratio de aproximadamente 3 a 1.



3.3.7. Horno Final

Teóricamente el horneado de una carrocería es un procedimiento simple. Uno de los requisitos básicos para ello, es calentar la pintura húmeda haciéndola pasar por un horno, con el fin de que manteniendo una temperatura durante un tiempo definido sequemos la aplicación. A priori esto debería ser un procedimiento sencillo como hemos dicho, pero el problema surge cuando no podemos mantener una misma temperatura a lo largo de todo el circuito ya que la carrocería es un cuerpo complejo, donde hay que secar interiores, exteriores, zonas superiores e inferiores y el cual no es homogéneo ya que hay, en su composición, diferentes materiales.

El horno es atravesado por cada una de las carrocerías pintadas en los anteriores procesos. Suele estar compuesto por tres segmentos; las zonas de calentamiento, las zonas de mantenimiento y las zonas de enfriamiento. Cada uno de estos segmentos tiene una función, el primero es subir la temperatura desde el ambiente hasta la de curado, el segundo mantiene dicha temperatura durante un periodo de tiempo, y por último un enfriamiento para evitar el choque térmico. El cumplimiento de estos tres segmentos es vital para que el proceso se produzca correctamente. El tránsito por cada uno de ellos se hace a una velocidad constante por lo que debemos tener una buena sincronización por cada una de las zonas.

Como hemos comentado el proceso consta de un horno y una carrocería, que debe moverse con una velocidad relativa entre ambos. Este proceso debe superar varios problemas, el primero de ellos es la escala dimensional tan grande que hay entre hornos de cientos de metros donde introducimos pequeñas carrocerías formadas por piezas y huecos de todos los tamaños. En segundo lugar, el proceso y sus valores analizados deben ser regulados automáticamente ya que los materiales de una misma carrocería no son iguales, partes son de plástico, otras de aluminio o acero. Por último las carrocerías son movidas por un transportador una tras otra, lo que producirá que las que están más frías afecten a las que están más calientes.

El horno como, está formado por tres segmentos, el primero de ellos es una zona de pendiente formado a su vez por dos zonas de precalentamiento y otras dos zonas de pre asentamiento. Seguidamente la zona de calentamiento, formada a su vez por 3 zonas de calentamiento. Por último encontramos 3 zonas de espera o de refrigeración. Los hornos tienen una extensión de alrededor de 300 metros y velocidades de transportador variables dependiendo de la longitud del horno, generalmente de alrededor de 0,1 metros por segundo. Como vemos la zona de calentamiento es más larga que la de enfriamiento. La primera suele durar 30 minutos y la segunda 10.

En la Figura 11 podemos ver el modelo de temperaturas y el modelo de convección de calor de cada carrocería en cada momento del horneado por convección.

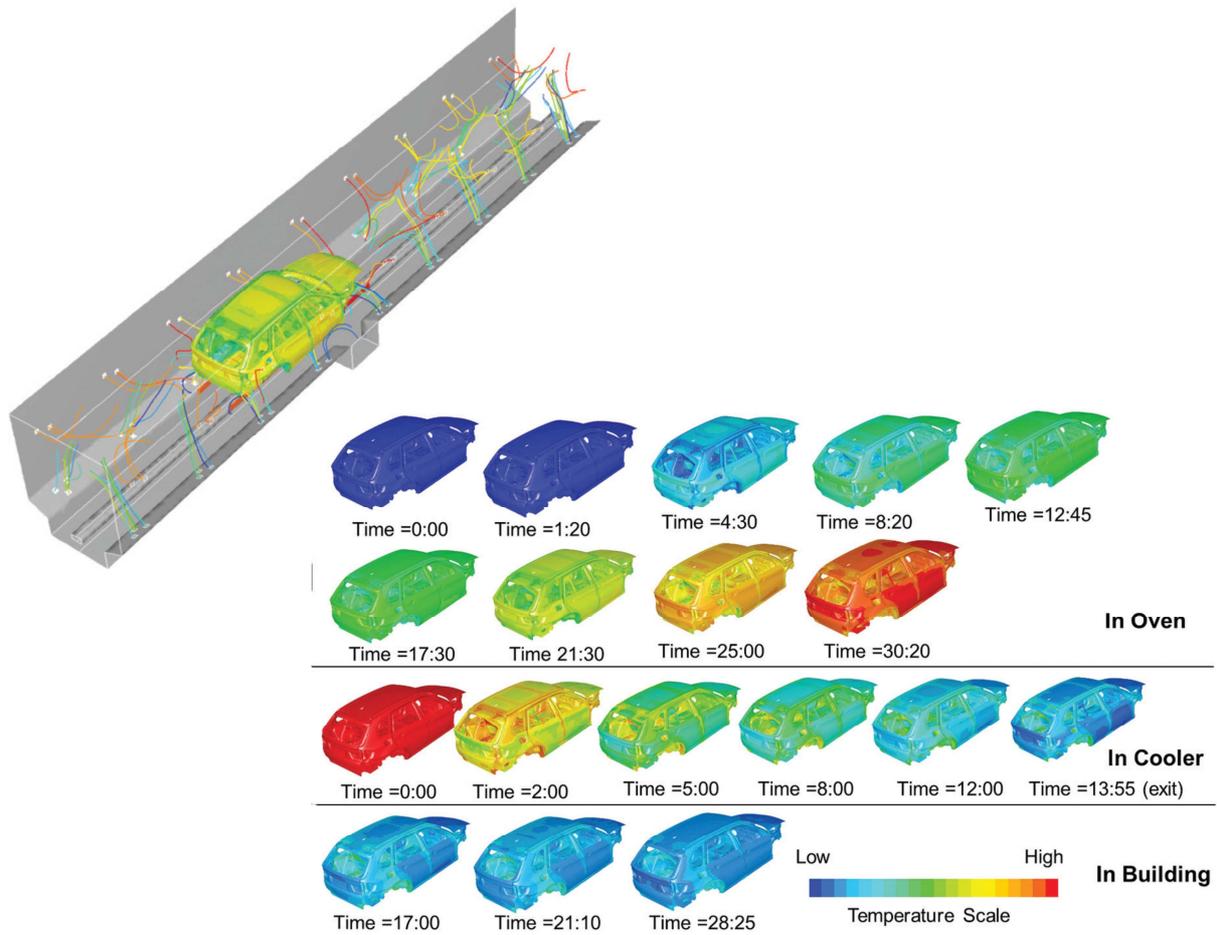


Figura 11: Temperatura carrocería en horno (Sharma 2007)

El tipo de horno utilizado puede variar mucho dependiendo de su uso. El calentamiento puede ser indirecto o directo y el funcionamiento puede ser por electricidad, gas o petróleo. La mayoría de los constructores utilizan los de gas mediante convección forzada, aunque actualmente con el fin de mejorar el rendimiento del proceso se están sustituyendo tramos por calentamiento por radiación.

En los hornos de convección el cuerpo se calienta por medio de aire que va barriendo la superficie y el interior transfiriendo el calor de este al cuerpo por convección de circulación. Para mantener una temperatura constante a lo largo del tramo el aire es soplado en el horno desde el suelo. Este aire atraviesa de forma vertical la carrocería llegando hasta el techo, donde será extraído y transportado de nuevo para ser reutilizado.

En el caso de los hornos de radiación, la circulación natural del aire causada por la convección de calor frente a los paneles de radiación, hace que aumente la temperatura justo por debajo del nivel del techo del horno. Mediante un ventilador extraeremos ese aire impulsándolo hacia el suelo para conseguir así una temperatura constante en el interior.

Combinando ambos tipos de horno, tendremos una zona de radiación que se utilizará como precalentamiento, ya que éste es más rápido calentando que la convección. Especialmente las áreas que están expuestas en el exterior. Como ya vimos en el horno intermedio de esta manera hacemos que el disolvente del barniz se evapore rápidamente evitando los defectos asociados. Seguidamente pasamos al área de convección donde la temperatura se mantiene constante durante el tiempo requerido.

3.3.8. Aplicación y Parámetros del proceso

La automatización de los procesos industriales y en este caso el proceso de pintura, han pasado a lo largo de la historia a través de diferentes etapas. En los inicios, las zonas exteriores eran recubiertas por máquinas de pintura, y cada una de las capas se aplicaba con pulverizadores de alta velocidad de rotación, exceptuando la capa metálica. Esta última se basaba en pulverizadores neumáticos, los cuales tenían un bajo rendimiento y una baja eficiencia de transferencia. Lo que hizo impulsar el uso de robots fue la búsqueda de la flexibilidad, efectividad y ahorro.

Nos referimos a flexibilidad de un robot a esa característica referida al diseño del vehículo, es decir diferentes modelos en una misma línea y al mismo tiempo reducimos la cantidad de atomizadores lo que hace al conjunto más eficiente y por tanto económicamente rentable. A día de hoy los atomizadores neumáticos están siendo sustituidos por atomizadores de alta velocidad de rotación. Actualmente se está desarrollando y empezando a utilizar la aplicación mediante campana.

Hay dos técnicas diferentes en el transporte de las carrocerías que delimitaran el diseño posterior de toda la estación y sus parámetros. La primera se caracteriza por el movimiento de la caja por la estación para ser pintada y la segunda es la llamada “*stop and go*” en la cual el cuerpo se para, fijado y posicionado y pintado. En el primero de ellos el tipo de robots es de seis ejes y es posible añadir un eje con movimiento de translación a lo largo de la cabina, Suele conllevar tecnologías menos complejas y menos costes de inversión inicial. Además permite una cadencia de pintado más alto ya que no necesita tiempo adicional para el transporte ni técnicas de posicionamiento. En “*stop and go*” el posicionamiento del cuerpo es mucho más preciso por lo tanto la aplicación no está influenciada por las variaciones en la posición del cuerpo causada por el sistema de transporte. El número de robots se reduce y los tiempos de cadencia también son más bajos. En caso de avería los robots restantes pueden hacerse cargo del trabajo del robot descartado siempre y cuando tengamos robots en funcionamiento a ambos lados.

La aplicación exterior puede ser realizada por ambos sistemas, pero la aplicación de secciones interiores tan solo podrá hacerse con un sistema “*stop and go*” añadiendo tecnología de visión artificial para la localización del cuerpo, ya que mediante manipuladores abriremos puertas y portones para dar acceso al interior a cada robot.

3.3.8.1. Cabina

La línea de pintura como hemos visto se divide en estaciones. Todas ellas tienen en común las condiciones necesarias de aplicación como son la temperatura y humedad en el interior de la cabina que deben ser aproximadamente 21°C y 60% de humedad. El exceso de pulverización que se genera durante la aplicación es absorbida por el aire que fluye verticalmente a través de la cabina y se dirige a un lavador en la parte inferior donde se recoge ese sobrante.

La cabina es suministrada por aire fresco que es aspirado por una serie de ventiladores. Este aire es filtrado desde el techo con una velocidad de entre 0,2 y 0,5 m/s dependiendo de la estación. Es condición necesaria para una buena aplicación que este aire se proyecte de forma totalmente vertical.

El sistema de lavado, como podemos ver en la Figura 12 recoge el sobrante, por medio de un vacío de Venturi, donde las partículas son absorbidas por el agua. El aire saliente es guiado a través de un intercambiador de calor de absorción. Aquí el calor y la humedad se intercambian con parte proveniente del exterior. El material de pintura sobrante retirado por el agua es filtrado y depurado para su posterior uso. Los lodos obtenidos de este filtrado son tratados posteriormente.

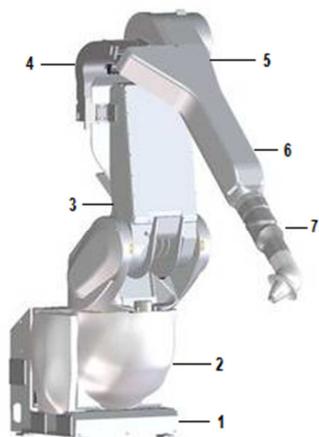


Figura 12: Recogida de pintura en el lavador (durr-paint.com)

No solo las cabinas deben tener una sobrepresión debida al aire, sino que los pasillos que rodean la cabina deben ser salas blancas. Con las misma temperatura que la cabina, lo que protegerá a esta de efectos externos como suciedad y variaciones de temperatura y humedad.

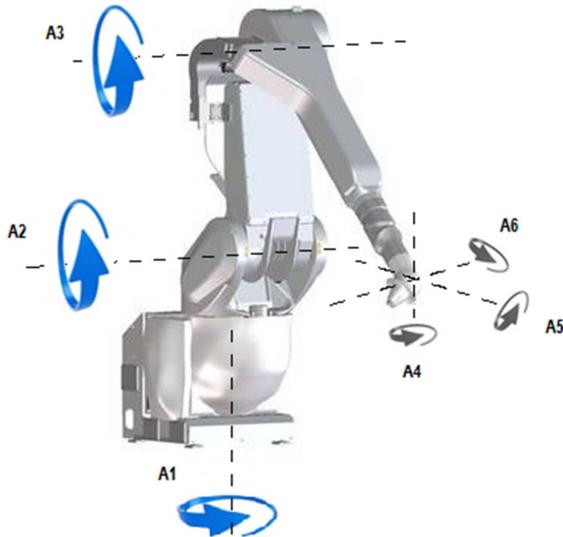
3.3.8.2. Robot

Un robot de pintura es una máquina automática libremente programable mediante tecnología curva-brazo. Tiene seis ejes rotatorios (Figura 14), tres ejes principales y tres en la muñeca. Puede añadirse un eje adicional llamado eje traslacional para movimientos a lo largo de la cabina. Con un solo robot pueden llevarse a cabo todos los procesos de pintura tanto exterior como interior.



- 1 Base
- 2 Conductores de los ejes 1 y 2
- 3 Brazo 1
- 4 Reductor eje 3
- 5 Conductores de los ejes 4,5 y 6
- 6 Brazo 2
- 7 Ejes de Muñeca

Figura 13: Partes de un robot de pintura (Adaptado ifr.org)



A1: eje 1 (movimiento de giro horizontal de la carcasa en el cuerpo de base)

A2: eje 2 (movimiento pivotante del brazo 1 en el cuerpo de base)

A3: eje 3 (movimiento de giro del brazo 2 del brazo 1)

A4: eje 4 (movimiento de rotación del eje de la mano directamente en el brazo 2)

A5: eje 5 (movimiento rotatorio compensado angular del componente eje mano media)

A6: eje 6 (movimiento rotatorio del eje de la mano en la brida de atomizador).

Figura 14: Ejes de un robot de pintura (Adaptado ifr.org)

Para ser capaces de ajustar el rango de trabajo del robot de manera óptima, la cinemática del robot es trabajada mediante la longitud de sus brazos. El peso debe ser adecuado para la carga dinámica y cinemática, ya que debemos ofrecer una alta precisión en el recorrido. En el caso de pintura de interiores como ya hemos dicho, existe la posibilidad del uso de manipuladores que complementan al sistema. Sin embargo, si el tiempo de pintura se evalúa correctamente esta ayuda puede salvar y reducir el coste de la inversión.

La forma de aplicación de cada robot puede variar dependiendo del atomizador utilizado. Estos pueden ser neumáticos, de alta velocidad de rotación y atomizadores en polvo. Es importante tener en cuenta, que el robot de pintura es adecuado para la electrostática sin restricciones, los productos y señales están conducidas por el interior del brazo del robot, lo que no debe ser un impedimento que restrinja la alta dinámica del robot. Por tanto, las bombas de dosificación, sensores de volumen de aire, válvulas y todo elemento debe ser instalado lo más cercano posible al atomizador.

El sistema operativo del robot debe ser multitarea de arquitectura modular y no debe entorpecer la dinámica de pintado. La inyección de la pintura viene dada por un mecanismo llamado aguja. Con ella podemos controlar exactamente el volumen de pintura que necesitamos en el momento preciso. En el caso hipotético de que hubiera una parada mantendría el volumen de pintura hasta su final aplicación sin que necesite una nueva carga y por tanto sin retrasar el proceso ni creando defectos.

3.3.8.3. Aplicación

La aplicación como ya hemos comentado en el apartado anterior se realiza mediante atomizadores. Los principales requisitos en un atomizador automático y su periferia son la reproducibilidad de todos los parámetros y su patrón. Esto no depende solo de las características de los sistemas de control, sino también de la calidad de la fabricación de los componentes utilizados en la boquilla, en la salida del aire, en la campana y así en cada uno de los componentes.

El funcionamiento es en la mayoría de los casos controlado electrónicamente por electroválvulas. El sistema de control también procesa las señales de realimentación del atomizado, al igual que la posición de la aguja y la velocidad de giro.

Para la aplicación automática, es importante definir un comportamiento muy rápido de respuesta del atomizador. Tanto de apertura como de cerrado en los cambios del volumen de pintura, junto al volumen de aire los cuales deben ser exactamente en los puntos programados. Eso no es fácil de cumplir, debido a las limitaciones de los sistemas neumáticos que tienen como fuente de energía el aire comprimido, lo que hace que los tiempos de respuestas sean más amplios, limitando las velocidades de las máquinas automáticas con un rango de velocidad de 1000m/s además de que longitud de las mangueras de aire agravan el problema aumentando el tiempo de respuesta. Por ejemplo, si el tiempo de conmutación de un atomizador es 50 milisegundos y un robot de pintura se mueve 50mm su trayectoria en ese tiempo el atomizador tiene que ser activado en un momento determinado y todos sus componentes deben ajustarse correspondientemente antes de que se mueva esos 50mm en un 50 milisegundos.

La alta automatización de las instalaciones de pintura no puede afectar al proceso productivo mediante averías o largos tiempos de parada para mantenimiento o reparaciones. Debe estar siempre disponible, con una tecnología robusta y fiable. Con el fin de un tiempo de reparación reducido los componentes deben poder ser cambiados en el menor tiempo posible. Por ello todos los componentes están conectados mediante un contacto de brida, tornillo y un acoplamiento de bayoneta que hace un cambio prácticamente instantáneo.

Atomizador sin aire: la atomización sin aire convierte la energía del fluido bajo presión en energía cinética. La geometría de la boquilla determina la eficiencia del sistema. Un chorro de fluido turbulento con una alta velocidad de flujo emerge de la boquilla proyectada hacia la carrocería. Las fuerzas de inercia generadas por la turbulencia interna del chorro son superiores a la fuerza de la superficie, de esta manera el chorro queda atomizado.

Atomizador neumático: en este tipo la energía necesaria para disipar el chorro de fluido que sale de la boquilla a baja velocidad hacia la carrocería se realiza mediante aire comprimido. El fluido se acelera nada más salir. La velocidad relativa alta (en alta presión prácticamente la velocidad del sonido) hace que el fluido se atomice debido a las fuerzas de cizallamiento contra el aire. Al llevar baja velocidad en el interior del brazo del robot no hay prácticamente turbulencias en el producto. Por tanto el aire de impulsión y atomización es el responsable de la calidad de la aplicación. La boquilla de pintura se cierra y se abre por medio de una aguja en la tobera y es activada neumáticamente por el sistema de control. El caudal de pintura se ajusta con las bombas dosificadoras. Una línea de retorno sirve para purgar el atomizador durante el proceso de cambio de color.

Atomizador rotacional: son de dos tipos, de discos y de campana, aunque este último es la actual tendencia en pintura. El fluido alimentado centralmente se distribuye en el atomizador como una película, el espesor de la película se va reduciendo hacia el borde del atomizador. El rendimiento aumenta considerablemente cuando la velocidad de rotación permanece constante. Básicamente la atomización rotativa es similar a la de sin aire, pero la atomización se realiza debido a la rotación de la campana, por lo que el diámetro de las gotas será directamente proporcional a la velocidad y el diámetro del disco. Las velocidades de giro son de entre 15000 rpm y 60000 rpm, y las campanas un diámetro aproximado de 50mm, variando sus geometrías y superficies de borde.

La pintura se centrifuga tangencialmente al borde de la campana. En ese momento es desviado por un flujo de aire que sale de los orificios en la parte trasera de la campana. La pintura ya atomizada forma un chorro de pulverización y desviado por las fuerzas de campo eléctrico hacia el cuerpo a cubrir. En este momento debemos considerar el espesor de pintura a aplicar y depende generalmente de los parámetros de funcionamiento comentados y la forma de la campana.

La pintura se carga por contacto directo con el disco o campana que a su vez está conectado a alta tensión, entre 50KV y 120KV o mediante una aglomeración de iones que son generados por electrodos externos, como podemos ver en la Figura 15. El primer tipo se usa para pinturas de baja conductividad basadas en disolventes orgánicos y para pinturas al agua. Las pinturas conductoras usaran el otro sistema de coste menor. Otra de las razones de un uso u otro es el fin de su uso.

Aplicaciones interiores no podrán llevar carga exterior sino que será interior con el fin de que los electrodos externos no dificulten la aplicación. La aplicación mediante conductividad nos da una transferencia de aplicación de entre 85 y 90%.

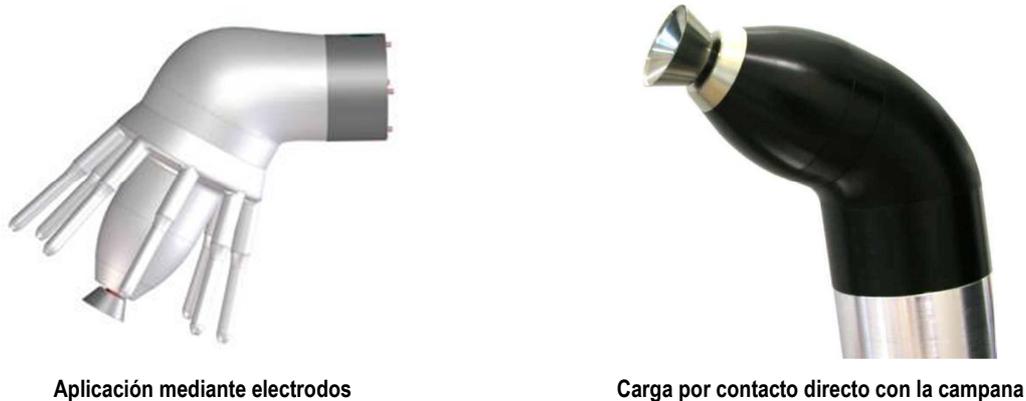


Figura 15: Comparativa entre atomizadores rotacionales (Durr.com)

3.3.8.4. Principales parámetros de aplicación

Los parámetros que a continuación describimos son una recopilación de lo ya visto anteriormente. Estos parámetros son aproximados pero la desviación de alguno de ellos hará que las posibilidades de defecto en la aplicación aumenten considerablemente.

Circulating	Valores
Temperatura de salida del producto (°C)	22 ± 2
Temperatura de entrada del producto (°C)	19*
Presión salida del producto (Bar)	9
Presión entrada del producto (Bar)	6,5
Propiedades producto	Fabricante
Cabinas	Valores
Temperatura (°C)	21± 1
Humedad relativa (%)	60 ± 2
Alta tensión (KV)	50-120
Revoluciones campana (rpm)	15000 - 60000
Distancia de aplicación (cm)	Variable
Velocidad del transportador (m/min)	3,5
Velocidad aire cabina (m/s)	0,2 - 0,5
Volumen de pintura aplicado (m³)	3000 - 4500
Horno Intermedio	Valores
Humedad absoluta (Kg _{H2O} / Kg _{aire})	< 4
Temperatura (°C)	±63

Horno	Valores
Temperatura SAS (°C)	32 ± 2
Temperatura precalentamiento (°C)	± 135
Temperatura calentamiento (°C)	± 160
Temperatura enfriamiento (°C)	± 140
Temperatura cooler (°C)	± 38
Exterior	Valores
Temperatura (°C)	Variable
Humedad (%)	Variable

*Según condiciones exteriores

Tabla 7: Parámetros del proceso de pintura (Autor)

3.3.9. Defectos y Retoques

Como todo proceso industrial, la técnica de pintado también tiene defectos, los cuales pueden haber sido originados en las diferentes fases de éste, desde la cataforesis hasta el horneado final. Los desperfectos pueden afectar tanto a su finalidad estética o a su protección final, siendo esto un problema grave si el coche llegara al final del montaje con dichos desperfectos o lo que puede ser peor si el cliente lo recibiera. Por todo ello una correcta identificación, conociendo el origen y el porqué de éste, ha hecho que puedan ser reconocidos y eliminados durante el proceso.

Por lo tanto una vez finalizado el proceso debemos realizar una inspección final intensa, con el fin de entregar la carrocería en perfectas condiciones al área de montaje garantizando la ausencia de defectos.

A continuación veremos una lista de los defectos más comunes que pueden aparecer en las estaciones y a que cualidad afecta. Al ser una tecnología muy delicada la cantidad de taras que pueden aparecer es enorme por lo que nos centraremos en los más importantes.

3.3.9.1. Descolgone

Los descolgone consisten en pequeñas gotas o cortinas de pintura que caen en las paredes verticales debido a la fluidez de la pintura (Figura 16). Suelen depender de 3 factores, la forma de aplicación, el abanico de pintado y el producto. En el caso de la aplicación una distancia de proyección muy pequeña, es decir la campana del robot está próxima a la carrocería, producirá el defecto, a su vez movimientos lentos harán que se proyecte pintura durante más tiempo en una determinada área cargándola demasiado y produciendo el descolgón. En segundo lugar el abanico de pintado viene determinado por el aire guía, si este abanico es muy reducido se aplicará más pintura en un área pequeña pudiéndola cargar demasiado. Por último todos los factores que afecten a las características del producto y obviamente que podamos controlar, como son la temperatura y la composición del producto (esta última dependerá del proveedor de pintura).

Los descolgone pueden producirse en cada una de las estaciones. Estos defectos en partes interiores serán más difíciles de reparar en línea, lo que puede conllevar al repintado. Para repararlos, tan solo debemos lijar ese área y repintarla.

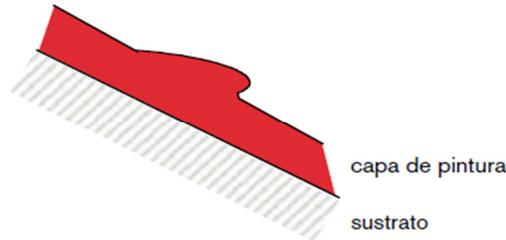


Figura 16: Descolgón (Técnica industrial 250)

3.3.9.2. Piel de Naranja

El caso de la piel de naranja es producida por la capa superior de barniz, la cual no ha estirado lo suficiente produciendo un efecto parecido a la piel de naranja (Figura 17). Este efecto no solo depende de la capa superior sino que todas las capas anteriores e incluso la calidad del metal afectan al resultado final, por lo que la aplicación de pintura debe ser correcta en todas ellas.

Una vez cometido el defecto, si no es demasiado pronunciada podemos pulir la superficie hasta eliminarla, si es más pronunciada debemos lijar la zona y barnizarla de nuevo. Si es excesiva el repintado es irremediable.

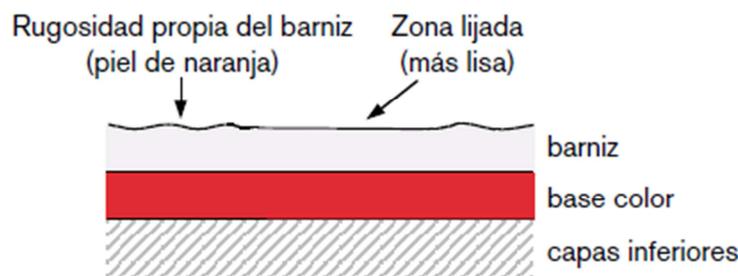


Figura 17: Piel de naranja (Técnica industrial 250)

3.3.9.3. Hervidos

Los hervidos se producen por el atrapamiento del disolvente de la capa de color que intenta evaporarse pero no puede debido a que la capa de barniz está superpuesta por lo que el barniz se hincha produciendo el defecto (Figura 18). Las áreas donde es más fácil encontrarlos son las aristas en puertas, portones... ya que la pintura tiene tendencia a ir hacia el borde.

Generalmente se producen debido a que el tiempo de "flash off", es decir, el tiempo de aplicación entre capa y capa es demasiado corto por lo que el disolvente no puede evaporarse por completo o las capas son excesivamente gruesas por lo que el disolvente en el interior no es capaz de escapar aunque haya flash off. Otra de las causas es la realización de un secado muy rápido de la pintura en el horno intermedio de infrarrojos por lo que el disolvente ha quedado encerrado en la capa de pintura. Generalmente este defecto es muy pronunciado en pinturas al agua ya que tiene una temperatura de evaporación más alta, lo que convierte al tiempo entre aplicaciones fundamental.

Cuando tenemos ampollas la única solución es volverlas a lijar y pintar ese área de nuevo, si estas áreas fueran muy extensas debemos lijar y repintar toda la carrocería de nuevo.



Figura 18: Hervidos (Técnica industrial 250)

3.3.9.4. Cráter

Los cráteres son averturas de forma esférica en la superficie producidas por problemas de tensión superficial (Figura 19). Aunque una mala aplicación puede producirlos, la mayoría de las veces es debido a la contaminación de la pintura, superficie o el aire de cabina con alguna sustancia que producirá el defecto. Estas depresiones superficiales no siempre llegan al fondo, aunque por lo general son muy profundos. Son conocidos como pin-hole.

Su reparación es compleja y el resultado puede que no sea bueno, por lo que si son muy abundantes se lija la superficie y se repinta de nuevo.



Figura 19: Cráter (Técnica industrial 250)

3.3.9.5. Suciedad

Toda la suciedad en general que se deposita sobre la capa de pintura aun fresca o la pintura depositada sobre la suciedad de la superficie (Figura 20). Suele ser un concepto muy general ya que puede llegar a englobar picos, moleteados, aglomerados...

En el caso de los picos son producidos por dichas partículas cuando son cubiertos por la pintura. Si hay una gran cantidad de picos se denomina moleteado. Cuando la procedencia de la suciedad es debida a productos del propio proceso como cascarillas de pintura, barniz seco o gralla metálica, se suelen denominar aglomerados, este tipo de partículas son debidas a fallos en la circulación del aire de cabina o en los filtrados del aire. Por ultimo están las fibras, debidos a los materiales de los filtros o a la ropa de los trabajadores.

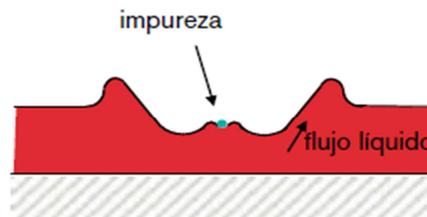


Figura 20: Suciedad (Técnica industrial 250)

3.3.9.6. Lijado y Pulido

No son defectos provenientes del propio proceso de pintura, sino que se realizan en el proceso de acabado o retocado. Pueden producirse por un mal lijado lo que nos llevará a otro tipo de defectos sobre todo asociados con suciedades, o la producción de rayas. Un mal pulido puede hacer que se creen hologramas, y si éste ha sido muy continuado arrastrará el barniz debido al calor producido y la presión aplicada, generando manchas blancas muy tenues (Figura 21).

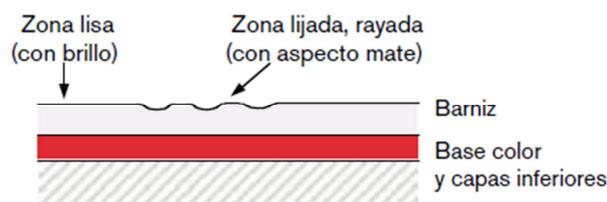


Figura 21: Lijado y Pulido (Técnica industrial 250)

3.3.9.7. Armonía

Este es un defecto que puede producirse de dos formas diferentes. La primera proviene de la propia aplicación metalizada, ya que al ser en dos fases y dependiente de la orientación de la fibra, una vez secado puede generar pequeñas cordilleras que dan un efecto claro/oscuro (Figura 22).

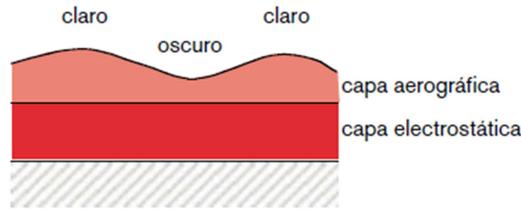


Figura 22: Armonía (Técnica industrial 250)

El segundo error en armonía es debido a la diferencia de color por efecto del material a pintar. En muchos casos las aletas del paso de rueda delantero son de poliuretano mientras que el resto de partes son metálicas, tanto aluminio como acero, pero todos ellos comparten una misma aplicación. En el caso del paragolpes, también de plástico, es pintado en otra área de pintura, lo que al ser un proceso independiente es susceptible de errores de armonía. Por último, el caso de retrovisores o pequeñas piezas que vienen ya pintadas desde el proveedor, el cual debe garantizarnos que ese color es exactamente igual al de nuestro coche.

3.3.9.8. Otros Defectos

Defecto	Causa	Croquis
Rayas	Marcas debido a lijados profundos en las zonas de revisión previas al pintado. Puede ser por falta de imprimación	
Lijados revisión soldadura	Lijado en chapa, producen marcas que al ser pintadas se transmiten en la pintura	
Áreas sin pintar	Debido al efecto de caja de Faraday. Al ser un pintado electrostático se genera un campo en el borde.	
Transparencia	Se producen turbulencias debido al aire guía que remueve la pintura evitando su adhesión	

Otros Defectos menos comunes: Arrugados, Sangrado, Manchas, Fallo industrial, Falta de brillo, Pérdida de adhesión, Roces, Grieta, Bollos de chapa, Overspray, Marca de agua, Opacidad.

Tabla 8: Otros defectos menos comunes (BASF 2012)

3.3.10. Medición e inspección final

La sección de pintura en automoción es una de las partes de la construcción de un coche en la que se revisa el 100% de la producción. El acabado de la pintura exterior e interior es el resultado final donde los clientes verán su calidad. Por ello, la cantidad de mediciones e instrumentos de medida para asegurar la calidad en el proceso es masiva. Cada uno de los constructores tiene definido sus propios estándares de color y apariencia. A continuación vamos a definir las mediciones más usuales en un proceso de automoción:

- ✓ Sensorial: el uso del tacto y la vista son parte fundamental para una primera revisión en línea. Falta de color, brillo o suciedad en la superficie son fácilmente detectados mediante los sentidos.
- ✓ Aspecto y Brillo: generalmente se evalúa lo que llamamos piel de naranja, ondulaciones en el reflejo que proporciona el barniz. Puede ser visual o medido mediante instrumentación siendo el *Wavescan* el dispositivo electrónico más común.
- ✓ Espesor: la cantidad de pintura aplicada en cada una de las capas determinará propiedades diferentes por lo que es esencial saber el grosor de cada película y el grosor total.
- ✓ Armonía: igualdad entre la pintura de la carrocería y las diferentes piezas que son añadidas después como el paragolpes, la carcasa de los retrovisores, manetas de puertas.
- ✓ Durabilidad, resistencia y adherencia: resistencia al medio ambiente, envejecimiento...
- ✓ Corrosión: tanto en condiciones de ambiente y envejecimiento naturales o envejecimiento forzado.

3.3.10.1. Aspecto mediante laser: *Wavescan*

La meta del *Wavescan* es ofrecer de una manera objetiva el control y la medición optimizada del aspecto de la textura superficial. En el proceso de pintura todo se reduce a una meta que es un acabado de alta calidad definido por su brillo y suavidad, parámetro que en *Wavescan* es definido como DOI.

La textura superficial de una aplicación de pintura comprende una mezcla de diferentes texturas, que van desde muy fina a muy oscura. Cada textura contribuye a la percepción visual global de la superficie pintada.

Como hemos ido viendo a lo largo del texto, la distribución de estas texturas depende de muchos factores, tales como el tipo y la calidad del producto, las condiciones durante la aplicación, el secado y la calidad de la aplicación. El proceso de aplicación debe adaptarse a diferentes contornos y orientación - rectas, curvadas, horizontales y verticales. A pesar de lo que muchos piensan, no existe una correlación entre el brillo y DOI. Una superficie con una mala evaluación de piel de naranja puede devolver excelentes resultados de las mediciones del brillo.

Los dispositivos *Wavescan* miden la superficie pintada y categorizan las lecturas en las bandas de longitud de onda. Para ello utiliza un rayo láser que detecta los diferentes tipos de textura de la superficie. Las mediciones de la ondulación se correlacionan de forma automática en términos matemáticos de acuerdo a otras escalas de medición visual de toda la industria incluyendo el valor de la tensión y la clasificación estándar de la piel de naranja. Las texturas de la superficie se diferencian en seis categorías, identificadas por longitud de onda.

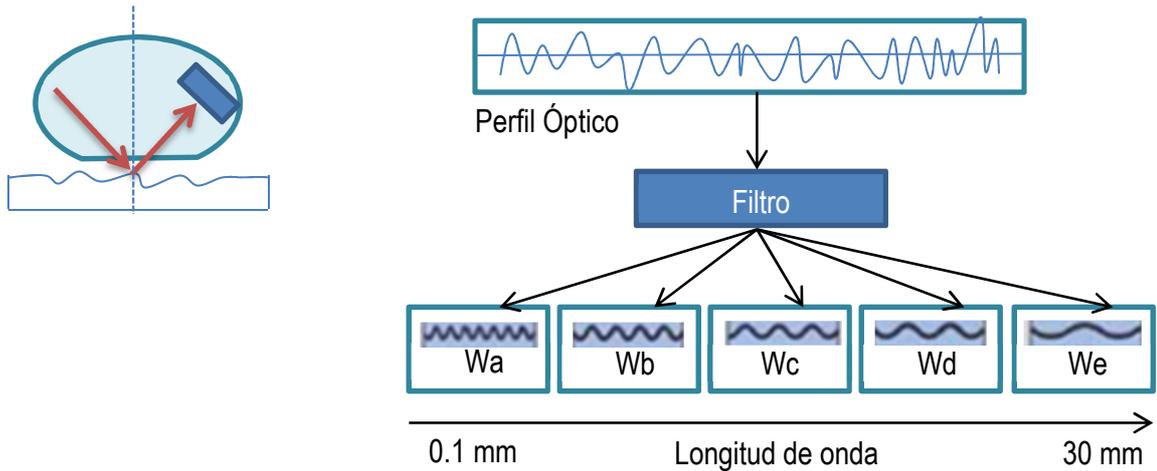


Figura 23: Funcionamiento de Wavescan (Gordon 1995)

Los valores bajos indican una ausencia de perturbaciones y un acabado suave.

La distribución de las texturas de la superficie (expresadas como longitudes de onda) puede ser visualizada en el gráfico de la Figura 23. Las texturas de la superficie se dividen entre onda corta y una gama de onda larga, onda corta para la percepción en distancias cortas y onda larga para la percepción a larga distancia. Onda corta es el valor que hace la piel de naranja más notable.

Los valores de onda largos y cortos se expresan en cifras por encima o iguales a cero. Valores de onda corta bajo significa que hay poca alteración del aspecto visual a una distancia más larga. Valores de onda larga baja significa que la aparición es apenas perturbada cuando se ve desde distancias cortas. Como vemos en la Tabla 9 tenemos valores diferentes para las zonas horizontales y verticales, debido a que las primeras son mucho más fáciles de aplicar que las segundas debido a que no hay efecto de gravedad.

	Horizontal	Vertical
20° gloss	>80	>80
DOI (ASTM E430)	>80	
Orange peel		
Ranking^a	>7	>5
Long wave (LW)	<10	<20
Short wave (SW)	<35	<35

Tabla 9 Valores máximos para LW, SW y DOI

3.3.10.2. Espesor mediante ultrasonidos: *Micropelt*

Los medidores de espesor por ultrasonidos digitales, siendo *Micropelt* uno de los más usados en la industria de la automoción, determinan el espesor de cada una de las capas de pintura desde la capa metálica hasta el barniz final, con la precisión necesaria para calcular el tiempo requerido por un pequeño pulso de ultrasonidos generados por un transductor llamado sonda para atravesar el espesor del material llegando a la parte opuesta y sea devuelta a la sonda de nuevo.

El tiempo empleado por dicho impulso viene relacionado con la siguiente fórmula;

$$H = \frac{(vxt)}{2}$$

Donde:

H = espesor del material medido

v = velocidad de propagación del ultrasonido en las especificaciones del material

t = tiempo empleado por el pulso a través del material (ida y vuelta)

3.3.10.3. Espesor: *Deltascop*

Hay dos métodos principales para la medición electrónica del grosor de las capas de pintura, por inducción magnética o por corrientes de Foucault. El más común de los dos y el que se utiliza actualmente en la industria de la automoción es el de inducción magnética.

El más común de estos dos métodos que se utilizan actualmente en la industria de impresión de la pantalla es la inducción magnética. Muchos conocen este tipo de instrumento como *Deltascop*, pero esto es en realidad un nombre de modelo utilizado por un fabricante para su dispositivo de inducción magnética.

Los métodos de medición de espesor por inducción magnética se basan en el principio con el mismo nombre. Estos indicadores están basados en un sistema de campo magnético creado por una corriente alterna (AC) o continua aunque éste es menos usado. Los basados en corriente alterna derivan sus mediciones en los cambios de fuerza de un campo magnético creado por la proximidad de una bobina hacia un objeto ferroso como puede ser la carrocería del coche. Con los cambios producidos entre la distancia entre bobina y carrocería medimos la densidad de flujo y el flujo de corriente que varía consiguiendo así la medición del espesor (Figura 24). No es solo un método de medición de pintura sino que pueden ser medidos todos aquellos recubrimientos no metálicos. En contra, recubrimientos basados en metales como acero, hierro o níquel pueden causar lecturas erróneas.

Hay varios patrones de medición específicos para este principio incluyendo ISO 2178, ASTM B- 499, y DIN 50 981. Estas normas dan una idea especificaciones de los instrumentos, la calibración, los factores que afectan a la precisión y procedimientos de medición.

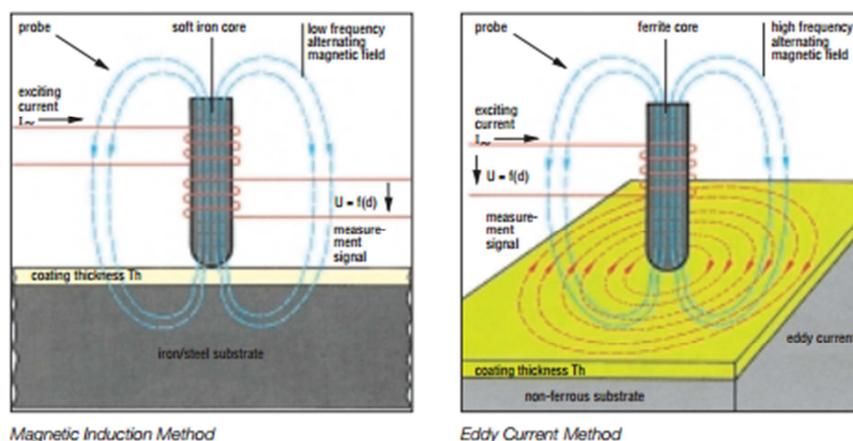


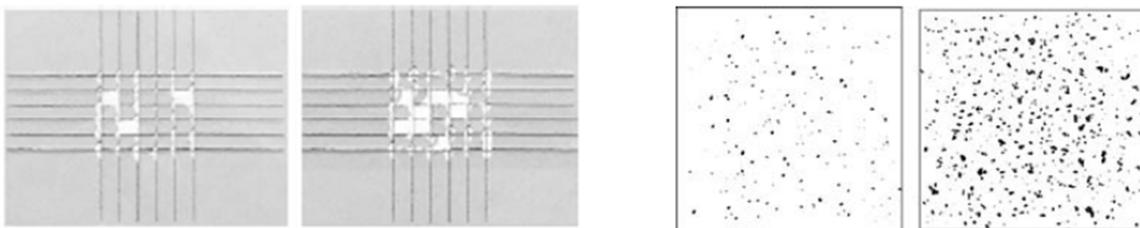
Figura 24: Método basado en inducción magnética (helmut-fischer.de)

3.3.10.4. Antigraillonado, durabilidad y adherencia.

Debido a diferentes factores sobre todo atmosféricos y su combinación la película de pintura se puede degradar. El efecto de la luz solar con temperaturas extremas podrían ser ejemplos de agentes exteriores que afectan a nuestra aplicación. Para realizar los controles de calidad sobre elementos atmosféricos, los constructores tienen laboratorios donde disponen de estaciones que simulan las condiciones de intemperie en diferentes atmósferas. El uso de equipos de envejecimiento acelerado como intemperímetros ha crecido tanto como la importancia de la pintura en el coche. Son elementos muy complejos en los que se generan las condiciones necesarias para desarrollar deterioro o colapsos en las capas de pintura simulando condiciones exteriores. Suelen simularse las condiciones más extremas de frío y calor y ambientes de tipo industrial con dióxido de azufre y nitrógeno.

La adhesión de pintura es otro de los parámetros a tener en cuenta, no solo por estética sino también por seguridad ya que elementos como las lunas y ventanillas están adheridos a la pintura, si ésta no tuviera un buen agarre a la carrocería sería muy complicado colocar estos elementos. El grado de limpieza del sustrato, la rugosidad superficial y el método de aplicación por un lado y las variables de formulación/elaboración de la pintura por el otro, inciden sobre la tensión de adhesión a la carrocería. El método más común para evaluar la adhesión es el que viene dado por La norma IRAM 1109 (Método B-VI), una vez seca la aplicación empleamos un utensilio que realiza cortes perpendiculares obteniendo cuadrados de 1, 2 o 3mm. Seguidamente pegamos una cinta adhesiva normalizada para el ensayo y la retiramos, observando el número de cuadrados que faltan.

Los ensayos de antigraillonado están influenciados y cambian debido a los nuevos métodos de pintura y al uso de nuevos metales en los componentes de los pigmentos. La grava es uno de los factores que más preocupa a los fabricantes de coches ya que una pequeña piedra puede hacer saltar parte de la pintura, y a partir de ahí problemas como oxidación, corrosión... Con el fin de ver la resistencia mecánica de la pintura realizamos el ensayo de gravillonado el cual consiste en el lanzamiento sobre un área determinada de una cantidad de piedras. Una vez realizado debemos medir la densidad de los agujeros y su profundidad (Figura 25). La norma que estandariza este ensayo es según EN ISO 20567-1, DIN 55996-1 aunque muchos fabricantes tienen la suya propia con exigencias mayores.



Test de adherencia

Test gravillonado

Figura 25 Test de adherencia y gravillonado (Adaptado Sharma 2007)

3.3.10.5. Test de Corrosión

Pequeños paneles de tamaño 10x20 o 10x30 son usados para las pruebas de corrosión generalmente para la validación de revestimientos de electrodeposición y tratamientos superficiales. El resultado final vendrá dado dependiendo del material a analizar, los más comunes en automoción son el acero, el acero frío laminado, acero galvanizado y aluminio, y el tipo de tratamiento superficial.

La prueba más común para el acero está recopilada en la norma ASTM B117 o DIN ISO 50021 también conocida como la prueba de niebla salina. Esta prueba consiste en mantener las placas durante 1000 horas en un ambiente salino, y evaluarlas posteriormente. Mediciones especiales se realizan en partes significativas de la carrocería como son los cuerpos huecos o las zonas de contacto y soldadura.

Dependiendo del constructor y con el fin de evitar riesgos inesperados y reducir los errores por corrosión al mínimo posible se hacen pruebas periódicas a una carrocería completa. Para ello realizamos test de resistencia general a la corrosión del vehículo para luego finalmente cortarlo en pequeñas piezas y ser evaluadas individualmente.

3.4. Ceras

Una vez finalizado el proceso completo de pintado y su posterior revisión y retocado si lo hubiera, la carrocería pasa por la estación de ceras. Cada una de las secciones huecas y cavidades de la caja que previamente han sido preparadas y protegidas contra la corrosión, son de nuevo aplicadas mediante una capa protectora de cera protectora ya sea de forma manual o automática, con el fin de garantizar la máxima protección.

En el método manual, la cera se pulveriza mediante pistolas de aire comprimido hacia las secciones de la carrocería que necesitan de aplicación. Para ello se requiere una boquilla de pulverización con una geometría de la sección del cuerpo hueco del coche.

En el caso de que la aplicación sea automática, estaciones de robots, pulverizan cada uno de las áreas del chasis, especialmente en los bajos del coche, haciendo la geometría de ésta variable según sea necesario

Finalmente, la cera pasa por un pequeño horno con el fin de ser endurecida. Este endurecimiento no nos e hace para mejorar en las propiedades del material, sino que se realiza por motivos higiénicos. Una vez endurecida no goteará a lo largo de los procesos de montaje.

4. EL PROCESO DE PINTURA EN PLÁSTICOS

Actualmente, la industria de la automoción nos está dando muchos motivos para la utilización de los plásticos en coches. La razón principal, es la reducción del peso teniendo en cuenta que la seguridad debe estar garantizada. Además de su flexibilidad y funcionalidad, los plásticos forman parte muy importante del diseño del coche.

En los años 80 la utilización de plásticos era prácticamente la mitad que en 2010. Se calcula que la sexta parte del peso del automóvil actual corresponde a plástico. Los departamentos de I+D+i cada día desarrollan nuevos materiales y compuestos que hacen que el porcentaje de plásticos sea mucho mayor. Otro de los factores determinantes es la unión de piezas. Un ejemplo de ello es el paragolpes. Anteriormente era una barra de plástico que se anclaba en el frontal. Hoy, el parachoques es una pieza única que integra la rejilla del radiador, parte de las aletas y es fundamental en el diseño.

Las posibilidades de diseño, conformado y procesado de los plásticos son ilimitadas. Esto no solo nos ofrece diseños asombrosos, sino que los ahorros en combustible debido a la reducción de peso son considerables. Las puertas fabricadas con compuestos de plástico tienen un peso de un 10% menor que las tradicionales.

4.1. Plásticos utilizados en automóviles

Nombre químico	Acrónimo	Componentes
Polipropileno/etileno propileno dieno	PP/EPDM	Parachoques, alerones traseros
Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS	Carcasas de retrovisores, cubiertas de rueda, cofres de techo, alerones delanteros y traseros
Poliamida	PA	Cubiertas de rueda, tapa de llenado de combustible
Polycarbonato	PC	Paneles de parachoques, rejillas de radiador
Oxido de polifenileno	PPO	Componentes de la carrocería: guardabarros, portones traseros
Acrilonitrilo estireno acrilato	ASA	Rejillas de radiador, alerones delanteros y traseros
Acrilonitrilestireno	SAN	Rejillas de radiador, alerones delanteros y traseros
Poliuretano	PU	Elementos del parachoques, alerones traseros
Tereftalato de butileno	PBT	Componentes de la carrocería: guardabarros, portones traseros
Poliéster no saturado	UP	Portones traseros, componentes adicionales de camiones, piezas de automóviles deportivos
Resina Epoxi	EP	Componentes para automóviles de competición
Cloruro de polivinilo	PVC	Capotas, bandas de parachoques

Tabla 10: Plásticos utilizados en automóviles (Adaptado Standex 2008)

4.2. Pintado de plásticos

El pintado de las partes plásticas es exactamente igual que el pintado de la carrocería con una diferencia, debemos garantizar que el primer se adhiera al plástico. Los plásticos tienen propiedades diferentes al metal por lo que la adherencia de la pintura se comportara de forma diferente. Además, una vez acabado el proceso de pintado debemos garantizar, que el color de las partes metálicas y plásticas sea el mismo.

Para garantizar la adherencia de la pintura en el plástico, debemos tener la pieza limpia de productos provenientes de fases anteriores, como son desmoldeantes de las prensas de inyección o protectores de almacenamiento.

Para ello usamos un atemperado o flameado de las piezas. Calentando las piezas antes de limpiarlas conseguimos que los agentes desmoldeantes emerjan desde el interior hacia el exterior, especialmente en materiales como el poliuretano. Por otra parte, las tensiones internas se reducen consiguiendo disminuir el número de grietas producidas durante el procesado. Durante esta fase del pintado debemos evitar la deformación de la pieza producida por pequeñas bolsas de aire interior que migran hacia el exterior.

Una vez atemperado, pasamos al proceso de limpieza. Como veíamos en las partes metálicas, la pieza pasa por diferentes fases de enjuagues y baños con el fin de dejar la pieza lo más limpia posible de productos externos. Una vez limpia la pieza, está lista para el proceso de pintura.

5. CONCLUSIONES

Tres principales legislaciones están cambiando y cambiarán el panorama de la automoción y su industria tanto en Europa como en el mundo. La primera de ellas es la directiva 2000/53/EC, que requería para el 2006 una reutilización de los coches del 85% y 80% de reciclado pero que se verá aumentada en el 2015 a un 95% de reutilización y un 85% para reciclado. Esto ha hecho una reconsideración de los modelos de ciclos de vida que en nuestro caso son las pinturas y PVC. La segunda es otra normativa para la industria Europea con la introducción de la evaluación de riesgo de cada producto químico. Por último, la agencia de Protección Ambiental de EEUU que se ocupan de los antioxidantes, conservantes y similares se ha hecho potencialmente importante debido a los cambios de disolventes a base agua y reducción de metales pesados.

La directiva de la Unión Europea sobre el reciclaje es la que más afecta al área de pintura debido a las sustancias tóxicas donde tendremos que focalizar en eliminar elementos como plomo, cadmio o cromo. Estos elementos son encontrados en las pinturas con el fin de dar apariencia y prácticamente han sido eliminados. El más complicado es el cromo para tratamientos superficiales como pasivador.

Estos límites legales están haciendo que los departamentos de pintura desarrollen una tecnología de última generación con un rendimiento máximo y con un conocimiento del impacto ambiental y los límites de exposición. Emisiones a la atmosfera, residuos y contaminación de agua. Cero procesos de desecho y circuitos cerrados de agua son objetivos que día a día van alcanzándose.

Pero no solo el departamento de pintura cambian, sino que los cambios provenientes del resto de la fábrica afectan a la pintura. La soldadura por láser en el proceso de soldadura hará que las uniones puedan ser tratadas de forma diferente y obtengamos menos rechazos por soldadura, la introducción de gran cantidad de piezas plásticas mayormente el paragolpes y las aletas delanteras y actualmente nuevos cambios como portones de plástico y alojamientos de rueda de recambio que también deberán ser tratados.

Por último la alta automatización desarrollada en el proceso de pintura es la que hará más flexible el proceso, más eficiente y la posibilidad de ser optimizado para tres turnos al día sin parar.

6. REFERENCIAS

- (1) Introducción a las pinturas metálicas. 2011 BYK-Gardner GmbH.
- (2) Application: Paint. Understanding Infrared Heating: Heraeus; 2011. p. 39-43.
- (3) ABB. Paint robots in the automotive industry – process and cost optimization. ABB Review 2001.
- (4) Anand Misra, Ananda Mazumder, Girish Kumar, Vimal Kumar. Wet Technology – A Novel Approach for Greener, Efficient, Smart Practice in Automotive Paint Application. SAE International 2011.
- (5) BASF: The Chemical Company. Paint Defects Advice. Paint Defects Advice 2005:1-129.
- (6) Bosch, W, Cuddemi, A. Progress in Organic Coatings. Progress in Organic Coatings 2002;44:249.
- (7) Carlos José Martín. Las pinturas perladas tricapa. Carrocería y pintura 2002.
- (8) Chen Z, Wu LYL. Chapter 14 - Scratch damage resistance of silica-based sol-gel coatings on polymeric substrates. Tribology of Polymeric Nanocomposites (Second Edition) Oxford: Butterworth-Heinemann; 2013. p. 467-511.
- (9) Davies G. Chapter 7 - Corrosion and protection of the automotive structure. Materials for Automobile Bodies Oxford: Butterworth-Heinemann; 2012. p. 269-308.
- (10) Davies G. Chapter 5 - Component manufacture. Materials for Automobile Bodies Oxford: Butterworth-Heinemann; 2012. p. 193-239.
- (11) Dawn M. Hohl. Using Electronic Coating Thickness Gauges Effectively in the Screen Printing Process. SPTF Practical Application Bulletin 1997.
- (12) Domnick J, Gruseck D, Pulli K, Scheibe A, Ye Q, Brinckmann F. Investigations of the drying process of a water based paint film for automotive applications. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification 2011 5;50(5-6):495-502.
- (13) Dr. Konrad Reif, Karl-Heinz Dietsche, Konrad Reif. Materials: Deposits and coatings. In: Karl-Heinz Dietsche, editor. Automotive Handbook. 8th ed. Postfach: BOSCH; 2011. p. 203.
- (14) Dr. Michael Hilt. Automotive painting processes - today and tomorrow. Automotive painting processes 2011 Research Society for Pigments and Coatings Department Coatings and Pigments.
- (15) Dürr. Complete Paint Shops for the Automotive Industry and its Suppliers. Paint Systems .
- (16) Dürr AG. Product Overview. 2013; Available at: <http://www.durr.com/product-overview/paint-systems-products/>. Accessed 01 September, 2013.
- (17) EISENMANN. Cleaning Method Using Emu Feathers. Available at: <http://www.eisenmann.com/en/products-and-services/application-and-robotics/cleaning-systems/emu.html>. Accessed 08/17, 2013.
- (18) F. García. Automoción. Plataforma Tecnológica Española del Acero 2010:1-27.
- (19) Goldschmidt, A., Streitberger, H.-J. BASF Handbook on Coatings Technology. 2003:558.
- (20) Gordon Fettis. Automotive Paints and Coatings. First ed. Cambridge; Weinheim; New York; Basel; Tokyo: VCH; 1995.
- (21) Verónica Gudiña Vidal. Estudio técnico del proceso de pintado y sus consumos en la industria automovilística Universitat Politècnica de Catalunya; 2010.
- (22) Hans-Joachim Streitberger KD. Automotive Paints and Coatings. Segunda ed. Wuppertal, Germany: Wiley VCH; 2008.

- (23) Interempresas.net. Tendencias de pintura en la industria de la automoción. Emagazine Automoción y Talleres Mecánicos 16 de Julio 2013(Julio - Agosto 2013).
- (24) J. Dosta XJ. Defectos en la aplicación de pinturas en carrocerías. Técnica Industrial 2003(250):1-5.
- (25) John Pfanstiehl. Chapter 1: Automotive paint basics. In: John Pfanstiehl, editor. Automotive Paint Handbook. 1ª ed. New York: HPBooks; 1998. p. 2.
- (26) Juan A. Marin-Garcia, Tomas Bonavia. Strategic Priorities and Lean Manufacturing. Practices in Automotive Suppliers Ten Years After. Strategic Priorities and Lean Manufacturing 2012;New Trends and Developments in Automotive Industry.
- (27) Krisztina Demeter, Dávid Losonci, Zsolt Matyusz, István Jenei. The Impact of Lean Management on Business Level Performance and Competitiveness. In: Institut de l'Entreprise (IENE), Faculté des Sciences Économiques, Université de Neuchâtel, editor. Rapid Modelling for Increasing Competitiveness. 1th ed. London: Springer London; 2009. p. 177-198.
- (28) Lancia - Fiat. Reparación de la carrocería y preparación-embellecimiento de superficies. 2010.
- (29) Misra, A., Mazumder, A., Kumar, G., and Kumar, V. 3 Wet Technology - A Novel Approach for Greener, Efficient, Smart Practice in Automotive Paint Application. SAE Technical Paper 2011.
- (30) Mr. I.R.Sharma. Painting Makes the Difference. 2007.
- (31) Muhammad Farid Bin M Fathil. Painting Process Improvement for Automotive Industry. Pahang: Faculty of Mechanical Engineering; Universiti Malaysia Pahang; 2008.
- (32) Munivirual. La Cataforesis. Marchal 2008:1-2.
- (33) P. Orozco. Estudio del deterioro de barnices de automóvil por contaminación ambiental. Seat España 2006:13-18.
- (34) P. Santos. Los defectos y daños más comunes en el pintado. Centro Zaragoza 2001(10):1-4.
- (35) Peirón Romero P. Pintura por cataforesis 2012.
- (36) PPG, inventor. AnonymousCured coatings having improved scratch resistance and coated substrates. Patent EP 1204701. 2005 .
- (37) Sankara Narayanan. Surface pretreatment by phosphate conversion coatings. Reviews on Advanced Materials Science 2005:130-177.
- (38) Sherman R. 20 - Carbon Dioxide Snow Cleaning. In: Rajiv Kohli, K.L. Mittal, editors. Developments in Surface Contamination and Cleaning Norwich, NY: William Andrew Publishing; 2008. p. 987-1012.
- (39) Specialty Minerals. PVC Plastisol Sealants. 2012; Available at: <http://www.specialtyminerals.com/specialty-applications/specialty-markets-for-minerals/adhesives-and-sealants/pvc-plastisols-sealants/>. Accessed November/14, 2013.
- (40) Standox Ibérica. Pintado de plásticos. Barcelona, España: Standox; 2008
- (41) Svejda P. Designing an Automotive Paint Shop for Optimal Flexibility and Efficiency. Met Finish 2011 0;109(8):23-26.
- (42) T. Bradjich, G. Muir, K. Weiss. Fluid Types: Paints and Other Coatings. Minneapolis, United States: Graco, Inc.; 1995.
- (43) Ulrich Poth. Primer Surfaces. In: Vicentz Network, editor. Automotive Coatings Formulation: Chemistry, Physics und Practices. 1st ed. Hannover, Alemania: Vicentz Network; 2008. p. 105.
- (44) Vital Overseas Sdn Bhd. Production defect 18. Solvent Washing. Vital Overseas Sdn Bhd 2012;8.
- (45) Yu G. Simulation of Automotive Paint Curing Process in an Oven. Met Finish 2013 0;111(2):18-22.