

Resumen

El grupo Volkswagen lucha a diario por ofrecer productos de alta calidad independientemente del segmento en el que se encuentre. Por esta razón, SEAT investiga constantemente como mejorar su producto o sus procesos y con ello el producto final.

Este proyecto se ha centrado en el proceso de pinturas y, más concretamente, en cómo mejorar este proceso variando únicamente el sustrato sobre el cual se aplica. La propuesta de modificación en el sustrato viene desde los ya proveedores de chapa de SEAT, Thyssenkrupp y ArcelorMittal. SEAT verifica si esta variación supone una mejora, o bien en la calidad del producto o bien en una reducción de su coste.

Tras haber ensayado las tres propuestas, hemos observado que dos de los materiales son prometedores mientras que hay una que no lo parece tanto. Actualmente hay una prueba industrial programada para la semana ocho de este mes dónde se testará uno de estos dos materiales cuyos ensayos han dado buen resultado.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. GLOSARIO	5
2. MOTIVACIÓN	6
3. ALCANCE	7
4. OBJETIVOS	8
5. INTRODUCCIÓN	9
5.1. Galvanizado del acero	9
5.1.1. Cincado al fuego o galvanizado por inmersión	14
5.1.2. Electrocincado	16
5.1.3. Procesos alternativos	17
5.2. Recubrimientos de conversión. FOSFATADO	18
5.3. Pintura de automoción	20
5.3.1. Composición de las pinturas	21
5.3.2. Formación de una película de pintura	24
5.3.3. Pintura cataforética (KTL)	26
5.3.4. Imprimación	28
5.3.5. Fondo de color	29
5.3.6. Barniz	29
5.4. Procesos pinturas SEAT	30
5.4.1. Proceso actual	30
6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	32
6.1. Materiales	32
6.1.1. Preparación de las probetas	33
6.1.2. Mediciones previas	33
6.2. Ensayos de adherencia	34
6.2.1. Granallado	34
6.2.2. Ciclos térmicos	38
6.3. Ensayo de corrosión	39
7. RESULTADOS	42
7.1. Bloque de ensayos I: Electrocincado pefosfatado bajo en nitrato	42
7.2. Bloque de ensayos II: NIT	46
7.3. Bloque de ensayos III: PrimeProtect	50

8. COSTE ECONÓMICO	54
9. IMPACTO MEDIO AMBIENTAL	57
10. CONCLUSIONES	58
11. AGRADECIMIENTOS	59
12. BIBLIOGRAFÍA	60
12.1. Libros:	60
12.2. Webs:.....	61

1. Glosario

LTS: laboratorio tecnología superficies

TTS: Túnel de tratamientos superficiales

KTL: pintado por cataforesis

HDG: acero cincado al fuego

EZPH: acero electrocincado prefosfatado

PVC: Policloruro de vinilo

HF: imprimación

2. Motivación

Actualmente en el grupo Volkswagen hay un problema de adherencia de pintura ya que muchas de sus fábricas no se ajustan a su normativa en los colores más críticos. Esto es debido a que en muchas de ellas, por temas medio ambientales se pasó de imprimación al disolvente a imprimación al agua, siendo ésta más crítica. Entre las empresas afectadas se encuentra SEAT.

Por otro lado, SEAT tiene una garantía a corrosión muy exigente, y actualmente lo cumple aunque se encuentra en el límite. Y al ser Alemania uno de los principales mercados, un país muy crítico para corrosión a causa de su clima y de la sal en las carreteras, es conveniente seguir investigando en este aspecto.

Por esta razón, dentro de SEAT se presentan ideas de mejora y se invita a los proveedores a investigar y promocionar los productos que consideren. De esta manera es como llegó al laboratorio la petición de realizar ensayos sobre tres nuevos sustratos. Ya través de la petición el desarrollo del presente trabajo.

3. Alcance

Una vez realizados los ensayos, los pasos que se deben seguir para implantar uno de los productos son bastante variables.

Actualmente, la implantación del NIT es bastante inminente ya que supone una reducción económica importante. Se está programando una prueba industrial a pesar de no hallarse finalizados los ensayos de uno de los departamentos.

En caso de salir bien esta prueba industrial, este material se empezará a implantar en los capós del Ibiza y del León. De tal manera que esta pieza de la carrocería estaría hecha de NIT, un material de Arcelor, sustituyendo al electrocincado prefosfatado cuyos proveedores son tanto Arcelor como Thyssen.

4. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es comprobar si los materiales de chapa propuestos pueden sustituir en alguna aplicación a los materiales de chapa actuales suponiendo esta sustitución una mejora.

Este objetivo general se desglosa en los objetivos concretos siguientes:

- Determinación de la adherencia de la pintura sobre cada uno de los sustratos según la norma de SEAT.
- Determinación de la resistencia a corrosión de los sustratos según la norma de SEAT.
- Comprobar que se cumplen las especificaciones estructurales y de rugosidad en todos los casos.

5. Introducción

5.1. Galvanizado del acero

Se considera sustrato al material de base que forma la carrocería, generalmente acero, y al recubrimiento protector que se le aplica. Los recubrimientos protectivos más frecuentes se clasifican en revestimientos metálicos, revestimientos de conversión y en pinturas orgánicas protectoras. Estos recubrimientos se utilizan para proteger la chapa por separado o conjuntamente.

En este proyecto se utilizan cinco sustratos diferentes para estudiar su comportamiento. Los sustratos elegidos son chapas cincadas al fuego, chapas electrocincadas prefosfatadas normales y con un prefosfatado bajo en nitrato, chapas de NIT, y el denominado PrimeProtect.

A continuación se hablará brevemente de los recubrimientos metálicos en general y de los cinco sustratos que se utilizarán en los ensayos.

Para un medio dado, es posible clasificar los metales según el valor de su potencial de reducción. Según el potencial del material protector por comparación al del sustrato se distinguen dos tipos de revestimiento:

1. Recubrimientos nobles o catódicos:

En este caso el revestimiento es el cátodo del par. Es el caso de numerosos tratamientos con finalidad decorativa: metales preciosos, níquel, cobre y aleaciones de apariencia.

El metal protector es más noble que el sustrato a proteger. Es el caso, por ejemplo, del níquel o el cromo depositados sobre el acero. Si el material presenta una fisura que se extiende hasta el material recubierto, el contacto con el medio externo provoca la corrosión local y muy rápida de éste, que puede entrañar el desprendimiento del revestimiento por entonces sin atacar. Es muy importante que el recubrimiento tenga una buena calidad, ya que la protección del conjunto depende de ello.

2. Recubrimientos de sacrificio o anódicos:

En este caso el revestimiento es el ánodo del par. Es el caso de la protección del acero por un recubrimiento metálico que polariza catódicamente al metal de base. Los más utilizados son el zinc puro o aleado y el aluminio [Figura 5.1]. El estaño también pertenece a esta clasificación por razones cinéticas más que por razones termodinámicas.

El metal protector es menos noble que el metal a proteger, es decir, se va a 'sacrificar' por el sustrato. En un medio agresivo se corroerá en su lugar. Un ejemplo representativo de este modo de protección es el revestimiento de cinc o de cadmio depositados sobre acero. En caso de fisuras o porosidades la protección está asegurada.

Mecanismo de protección de un cincado:

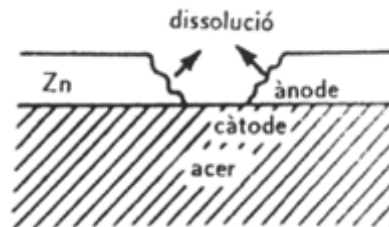


Figura 5.1. Comportamiento anódico-catódico del acero con capa de Zinc.

El recubrimiento metálico más utilizado en automoción es el cincado. Como se ha dicho, el zinc causa una protección catódica cuando se deposita sobre metales de base más electronegativos que él, como por ejemplo el hierro o el acero. Hay varios tipos de sustratos según la forma de realizar el cincado. En este estudio solamente se trabajará con dos de ellos:

1. Cincados obtenidos por inmersión en zinc fundido o productos galvanizados, como el cincado al fuego y el PrimeProtect.
2. Recubrimientos de zinc depositado electrolíticamente, como el electrocincado.

DIAGRAMA DE FASE Fe-Zn

Para comprender las propiedades de los sustratos que se van a ensayar es conveniente estudiar su estructura. El diagrama de equilibrio binario hierro-zinc [Figura 5.2] actualmente reconocido, proporciona mucha información en este aspecto. En el eje de abscisas se expresa la composición de las fases según el porcentaje en masa de zinc, y en el eje de ordenadas aparece la temperatura en grados centígrados.

Este diagrama solamente indica las regiones que corresponden a una sola fase. Las zonas en que se produce una separación de fases no están indicadas explícitamente. Por ejemplo, se supone que entre la fase L (constituida por una mezcla de Fe y Zn fundidos) y la intermedia Γ se encuentra la región $\Gamma+L$.

El diagrama Fe-Zn es complejo, ya que se pueden distinguir varias fases además de las usuales en otros diagramas. Las fases presentes se pueden clasificar en dos grupos:

1. Fases terminales:

Se llaman fases terminales de un sistema binario aquellas que constituyen las composiciones extremas del diagrama de equilibrio. En este caso, corresponden a las dos fases en que el hierro y el zinc son claramente mayoritarios frente al otro elemento (llamado soluto).

La fase de predominio de hierro, en el extremo izquierdo, se denomina ferrita, o hierro α , a la fase de temperaturas inferiores a 770°C . El empaquetamiento de los átomos de hierro en la ferrita es cúbico centrado en el cuerpo (BCC). Para temperaturas comprendidas entre 770°C y 1394°C el empaquetamiento más estable para el hierro es el cúbico centrado en las caras (FCC). Esta fase diferente se denomina austenita o hierro γ . La única diferencia entre estas dos fases es, por tanto, su estructura cristalina. El proceso mediante el cual una misma sustancia cambia de estructura cristalina, en ciertas condiciones, recibe el nombre de transformación polimórfica. En el rango de temperaturas comprendido entre 1394°C y 1538°C , punto de fusión del hierro, la estructura cristalina más estable para el hierro vuelve a ser la cúbica centrada en el cuerpo. En el caso de un acero (que es un sistema binario Fe-C) esta fase recibe el nombre de hierro δ , y sólo se diferencia de la ferrita en que existe a temperaturas más elevadas.

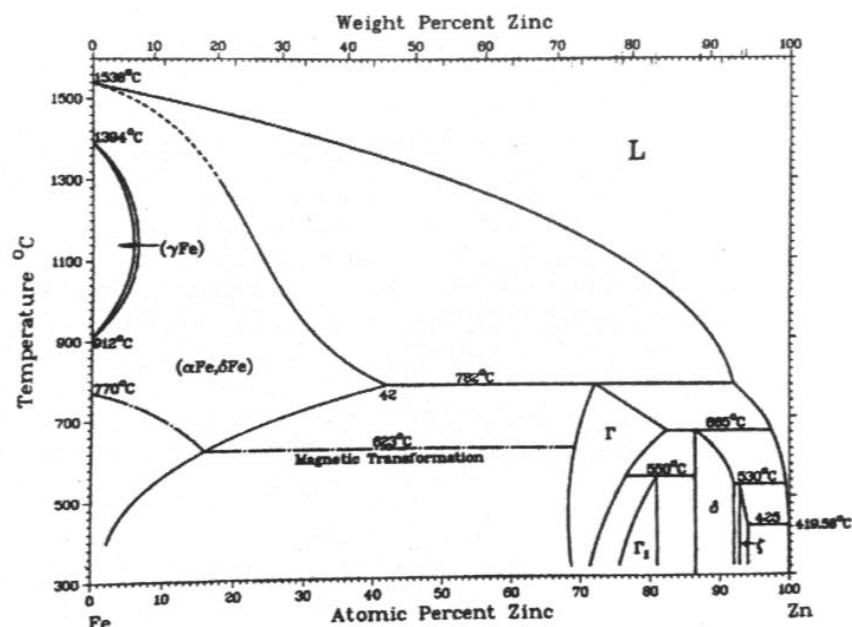


Figura 5.2. Diagrama de fase Fe-Zn. [Iron BinaryPhase Diagrams, 1982]

Una característica del hierro es su carácter ferromagnético. El hierro pierde sus propiedades magnéticas a temperaturas superiores a 770°C. Esta temperatura límite se denomina temperatura de Curie (T_c). En el diagrama está señalada con una línea discontinua la temperatura límite en que la mezcla binaria Fe-Zn todavía tiene propiedades magnéticas.

La fase de predominio del zinc, en el extremo derecho del diagrama, se denomina η-Zn y está constituida casi exclusivamente por zinc. La estructura cristalográfica del zinc es hexagonal compacta (HCP).

Consultando el diagrama se puede apreciar la gran diferencia existente entre los puntos de fusión del hierro y del zinc. Puntos de fusión en grados centígrados de ambos metales:

Hierro: 1536 °C

Zinc: 419,7 °C

Desde el punto de vista estructural, una fase terminal es una disolución sólida. Una disolución sólida se forma cuando, al adicionar átomos de soluto a un material disolvente, la estructura cristalina de partida se mantiene y no se forma ninguna otra estructura. Los átomos del componente minoritario están dispersos libre y uniformemente dentro del sólido mayoritario, sin distorsionar su empaquetamiento

2. Fases intermedias:

Una fase intermedia es aquella que aparece en la región central de un diagrama de equilibrio. Estas fases intermedias pueden existir en un rango determinado de composiciones o bien sólo para una composición determinada (y en este caso esa fase aparecería en el diagrama como una línea vertical, por ejemplo en el caso de algunos compuestos intermetálicos). Únicamente los sistemas binarios complejos presentan este tipo de fases.

Para composiciones intermedias, un mayor número de átomos de soluto crea distorsiones red cristalina del sólido que los contiene, dando lugar a una nueva fase diferente de la terminal correspondiente. En algunos casos estas nuevas estructuras se pueden considerar compuestos intermetálicos. Un compuesto intermetálico es un compuesto discreto de composición definida, al que se puede asignar una fórmula química. La estructura y propiedades de un intermetálico son diferentes de las de una disolución sólida.

En el diagrama Fe-Zn se pueden observar cuatro fases intermedias [Figura 5.3], denominadas zeta, delta, gamma 1 y gamma. Estas fases tienen contenidos en zinc progresivamente menores. Todas ellas se consideran compuestos intermetálicos, por lo que tienen una fórmula química asociada. Estas fases intermedias corresponden a las

aleaciones zinc-hierro que se observan en el NIT o en un cincado al fuego convencional como el de la fotografía:

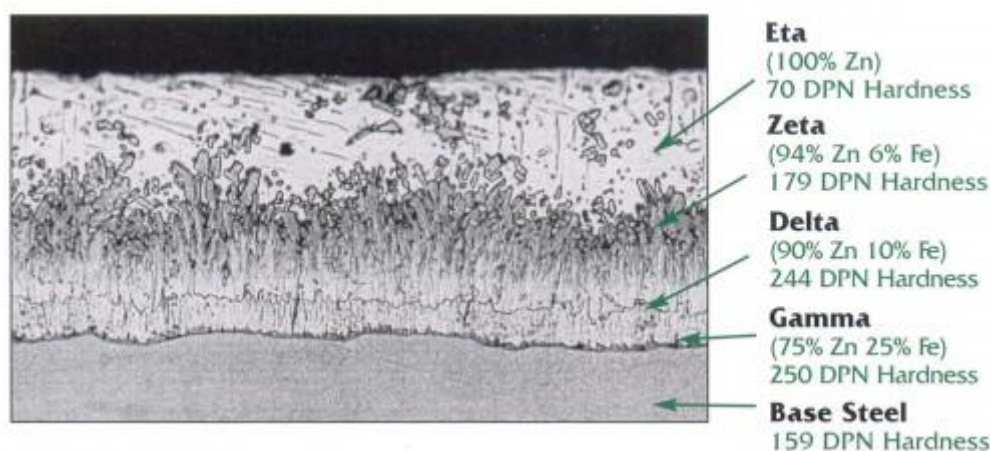


Figura 5.3. Corte transversal de un cincado al fuego [Web: www.galvanizeit.org]

FASE	COMPOSICION	% Fe	PUNTO DE FUSIÓN (°C)	DUREZA VICKERS	ESTRUCTURA CRISTALINA
Eta (η)	Zn	<0,03	419,7	37	Hexagonal
Zeta (ζ)	FeZn ₁₃	5-6	530	270	Monoclínica
Delta (δ)	FeZn ₇	7-11	530-665	450-470	Hexagonal
Gamma (Γ)	Fe ₂ Zn ₁₀	23-28	665-782	450	Cúbica BCC
Ferrita α	Fe	100	1536	150	Cúbica BCC

Tabla 5.1. Compuestos intermetálicos Fe-Zn y sus propiedades.

La tabla 5.1 clasifica las fases según un contenido decreciente en Zn y muestra sus propiedades. Hay que tener en cuenta que el rango de composiciones en que puede existir una fase determinada depende de la temperatura de trabajo (450°C en un cincado al fuego).

Las aleaciones zinc-hierro se caracterizan por tener mayor dureza que el zinc y el hierro. Debido a la elevada dureza y fragilidad de la fase Γ_1 es conveniente obtener productos galvanizados mediante tratamientos térmicos que minimicen su generación. Se puede comprobar que el espesor de la fase Γ en la fotografía anterior también es pequeño.

5.1.1. Cincado al fuego o galvanizado por inmersión

Obtención. El acero galvanizado por inmersión

El acero que se utiliza para la construcción de las carrocerías consiste en delgadas láminas de acero laminado en frío que posteriormente se han galvanizado en sus dos caras.

El cincado al fuego es el producto galvanizado más utilizado por sus múltiples aplicaciones. El proceso de cincado al fuego también se denomina galvanización en caliente.

El acero galvanizado por inmersión en caliente que se utiliza en automoción se obtiene por un proceso que trabaja en continuo. Este proceso es muy diferente respecto al galvanizado tradicional por proceso discontinuo. Las propiedades del producto final son muy diferentes en función del método utilizado.

Después de ser desenrollada y sufrir un desengrase alcalino, la lámina de acero entra en un horno recocido para que adquiera la formabilidad y consistencia necesarias antes de entrar en el baño de galvanización. La temperatura del baño de galvanización suele ser de 450°C. Finalmente la lámina galvanizada se enfría de forma que el recubrimiento de zinc tenga el espesor y textura deseados.

El espesor del recubrimiento de zinc depende especialmente del tiempo de inmersión de la chapa de acero en el baño de galvanizado. El espesor de zinc para chapa de automoción debe ser de unas 10 micras, que se consiguen con tiempos de inmersión del orden de segundos.

El producto final tiene un recubrimiento de zinc puro sobre una capa de aleaciones zinc- hierro que se han obtenido mientras la lámina de acero se enfriaba hasta temperatura ambiente. Esta capa de aleaciones puede estar más o menos desarrollada.

La capa de aleaciones genera un fuerte enlace metalúrgico entre el acero y el recubrimiento de zinc, pero tiene muy poca ductilidad. Este acero galvanizado no es adecuado para la embutición en prensas.

Es muy importante que se forme una zona de unión entre el acero y el zinc, pero es igualmente importante que esta región tenga poco espesor [Figura 5.4]. Actualmente esto se consigue tomando dos medidas:

- adición de una pequeña cantidad de aluminio (aproximadamente entre un 0,15 y un 0,20%) baño de zinc fundido

- control de la temperatura de la lámina de acero en el momento en que entra en el baño de zinc fundido y control de la temperatura del baño de galvanización.

En estas condiciones se obtiene el cincado al fuego que se utiliza en automoción:

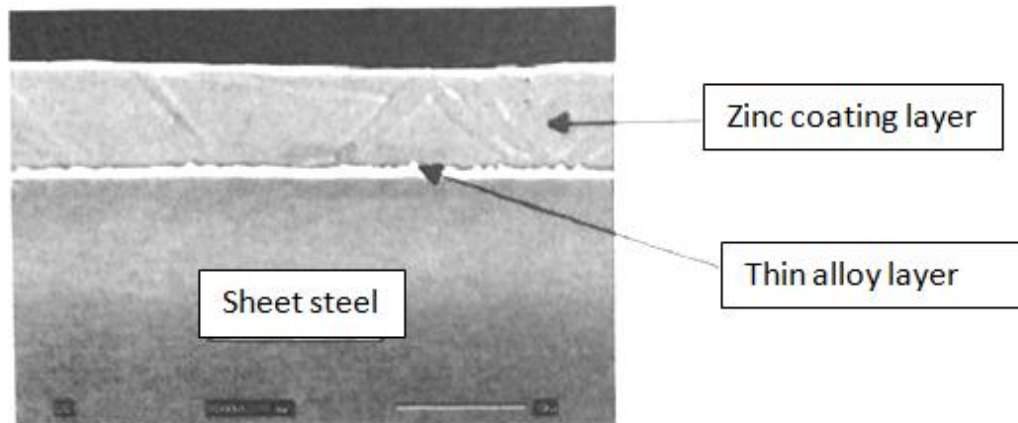


Figura 5.4. Corte transversal de un recubrimiento galvanizado con un pequeño porcentaje de aluminio [Metals handbook: metallography, structure an phase diagrams, 1994]

La adición de aluminio genera una delgada capa de Fe_2Al_5 que limita el crecimiento de aleaciones zinc-hierro. La fina capa de aleaciones que se obtiene todavía permite una fuerte adherencia del recubrimiento de zinc sin que el conjunto pierda sus propiedades mecánicas.

El buen comportamiento a la fricción y la ductilidad del zinc combinados con la excelente adherencia al acero base permite conformar las piezas sin que se produzcan desprendimientos del recubrimiento en prensas.

Acabado sin flores

El acero cincado al fuego que se utiliza en la industria de automoción debe tener un mejor aspecto que el utilizado para otras aplicaciones. El sustrato debe tener una estructura que garantice un pintado de alta calidad. En el caso de un cincado al fuego esta condición implica que su superficie debe estar libre de flores (cristales de zinc solidificados que forman un dibujo característico).

En el proceso de galvanización un recubrimiento sin flores, unido a un templado final, proporciona una estructura adecuada para el pintado. De esta manera ya no se genera el abundante límite de grano y el relieve de un galvanizado con flores.

El floreado depende en gran medida de la presencia de impurezas en el baño de galvanización. Las más importantes son el plomo y el antimonio. Estos dos metales favorecen el crecimiento de grandes cristales de zinc frente a la generación de cristales pequeños, que sería lo deseable. El zinc que se considera libre de plomo es el que contiene menos del 0,01% de este metal. Las técnicas actuales de obtención de zinc permiten este grado de pureza.

En las probetas cincadas al fuego que se van a ensayar se aprecian visualmente granos de zinc independientes y de distinto brillo, pero son muy pequeños. La superficie del recubrimiento tiene un brillo claramente metálico.

Propiedades

- La protección catódica del recubrimiento de zinc puro es mayor que en otros productos galvanizados por inmersión en caliente.
- La adherencia del recubrimiento de zinc al acero de base es muy buena porque se establece una unión metalúrgica entre ambos.
- El cincado al fuego es el sustrato más barato de los cinco que se ensayan.

5.1.2. Electrocincado

Obtención

Actualmente es posible obtener chapa electrocincada por procesos que trabajan en continuo análogos al de galvanización en caliente. La galvanización se realiza por inmersión de láminas de acero en una cuba electrolítica que contiene varios ánodos paralelos a su recorrido.

El sistema de obtención del electrocincado utiliza electrolitos ácidos, que contienen cloruro o sulfato de zinc a un pH menor que 5,5. En estas condiciones la lámina de acero actúa como cátodo y se deposita zinc metálico sobre ella, quedando recubierta. Los ánodos son placas de zinc. El potencial de corriente continua que se aplica es de 20 V. La intensidad de corriente es muy elevada para electrodepositar rápidamente todo el zinc necesario.

La reducción de los cationes Zn^{2+} del electrolito se puede representar de esta manera:



El recubrimiento obtenido generalmente es uniforme y está formado por zinc puro. Los baños ácidos se caracterizan por una elevada velocidad de electrodeposición.

Propiedades

- La unión del recubrimiento al acero es muy buena aunque no sea del mismo tipo que en el cincado al fuego. El electrocincado se puede trabajar bien y el recubrimiento no se desprende después de una severa embutición.
- Tiene unas características de superficie excelentes que facilitan el pintado.
- La protección contra la corrosión es aproximadamente la misma que en un producto cincado al fuego del mismo peso de capa.

5.1.3. Procesos alternativos

NIT

El NIT consiste en acero cincado al fuego al cual se le aplica un recubrimiento inorgánico para facilitar la estampación en prensas.

Esto es un desarrollo de la empresa Arcelor. Y al estar la competencia investigando y realizando un material de chapa que pueda equipararse a este último, la información sobre su composición es confidencial hasta el momento.

Teóricamente, este recubrimiento desaparece durante los baños de desengrase del taller cuatro, por lo que no debería afectar al proceso de pinturas.

Por último, cabe destacar que la implantación del NIT supondría un ahorro económico importante para SEAT, ya que sustituiría al electrocincado prefosfatado, el material más caro, en los capós.

PrimeProtect

Por otro lado, nos encontramos con el PrimeProtect, un desarrollo de Thyssen, el cual equivaldría a un acero cincado al fuego dónde, el baño de zinc, además de tener un pequeño porcentaje de aluminio también contiene un pequeño porcentaje de magnesio.

Thyssen ha desarrollado este sustrato con la idea de mejorar la corrosión de la chapa. Por otro lado, asegura que el magnesio no empeora la ductilidad, sino que en todo caso la mejoraría. De todas formas, el porcentaje de magnesio es muy pequeño y por lo tanto no varía el resto de propiedades.

5.2. Recubrimientos de conversión. FOSFATADO

Los recubrimientos de conversión se pueden considerar capas barrera que impiden que el medio agresivo se ponga en contacto con el sustrato. Un recubrimiento de conversión muy importante en la industria de automoción es la fosfatación.

La fosfatación es el proceso de recubrimiento de una superficie metálica (generalmente acero galvanizado, acero o aluminio) con una capa de fosfatos metálicos insolubles por tratamiento con una disolución ácida que contenga fosfatos.

La función principal de la fosfatación es generar una superficie que facilite el anclaje del paquete de pintura al sustrato. Otra propiedad secundaria de la fosfatación es evitar el avance de la corrosión hacia el metal de base en caso de quedar el sustrato al descubierto.

A continuación se comentarán las características de la fosfatación del zinc y de dos etapas relacionadas con este proceso, la activación y la pasivación.

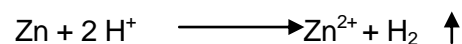
Activación

La activación es un proceso que genera capas de fosfatación compactas y uniformes. El activador que se utiliza en producción es un compuesto de titanio denominado Fixodine 50 CF. El activado se realiza por inmersión de las carrocerías en un tanque agitado. Este compuesto de titanio actúa como núcleo de cristalización sobre la superficie cincada. La activación tiene gran importancia porque determina las características de la capa de fosfatos que se va a formar.

Fosfatación del zinc

Se distinguen dos fases en el proceso de formación de la capa de fosfatación:

1. Decapado de la superficie metálica por ataque del ácido ortofosfórico (H_3PO_4)



2. Formación y crecimiento de la capa de fosfatación

- Decapado:

Consiste en la disolución parcial del metal por el ácido. El decapado se debe realizar en las condiciones adecuadas, ya que influye en las características del recubrimiento final.

- Aceleración:

El decapado se acelera mediante agentes oxidantes, que también previenen la excesiva formación de hidrógeno capaz de hacer más frágil la capa de fosfatación. Los acelerantes más comunes son nitruros (en desuso), nitratos, cloratos, peróxidos y nitrocompuestos orgánicos (por ejemplo nitroguanidina).

- Formación del recubrimiento:

El decapado provoca un aumento del pH en las proximidades de la superficie atacada, al mismo tiempo que se generan cationes Zn^{2+} y aniones $H_2PO_4^-$ en el medio de reacción. En estas condiciones se forma fosfato de zinc, altamente insoluble, que genera los cristales de recubrimiento. El fosfato de zinc, en contacto con los cationes Ni^{2+} y Mn^{2+} del baño, genera otros cristales que también forman parte de la capa de fosfatación.

Las características deseadas en una capa de fosfatación son capas cristalinas homogéneas, con buena cubrición y peso de capa elevado, entre 3 y 5 g/m^2 . El tamaño de los cristales de fosfato debe ser pequeño para evitar que sean frágiles.

La adherencia de la KTL a la fosfatación es muy buena porque la KTL penetra en los espacios entre cristales de fosfato y reticula entre ellos. La adherencia del fosfatado al metal de base es buena por el crecimiento de los cristales en epitaxia.

La fosfatación se puede realizar por inmersión o por aspersion. En producción la fosfatación de las carrocerías se realiza por inmersión, método más eficaz.

El aspecto de la capa de fosfatación depende de la naturaleza de los cristales que se formen [Figura 5.5]. El tamaño de los cristales de la capa de fosfato también depende de la estructura superficial del sustrato.

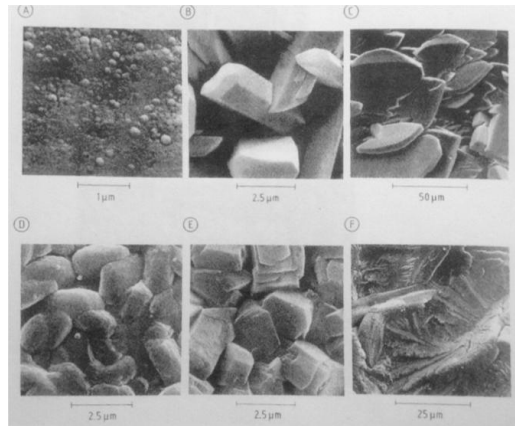


Figura 5.5. Cristales de fosfatación [Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1990]

Fotografías con microscopio electrónico de aceros fosfatados:

- A) Fosfato de hierro, aspersión; B) Fosfato de manganeso, inmersión;
- C) Fosfato de zinc, inmersión; D) Fosfato de zinc calcio, inmersión;
- E) Fosfatación baja en zinc, inmersión; F) Fosfatación baja en zinc, aspersión.

Pasivación

La pasivación impide que se formen puntos de corrosión en las carrocerías fosfatadas antes de que entren en la cuba de KTL. Su finalidad es proteger temporalmente el fosfatado. El pasivado actúa sellando los poros por pasivación de sustrato y por reacción con la superficie del cristal.

Actualmente el pasivado se realiza en producción por inmersión en sales de circonio. El pasivante utilizado se denomina Deoxylyte 54 NC y está basado en fluoruro de circonio, ZrF_6^{2-} . El cromatizado ya no se utiliza por razones medioambientales.

5.3. Pintura de automoción

La pintura es un compuesto de sustancias naturales o artificiales generalmente de naturaleza orgánica, que tiende a formar una superficie en los objetos adherida y continua con fines protectores, decorativos o aislantes.

Dependiendo de su utilización de las pinturas se clasifican en:

- Pinturas decorativas
- Pinturas industriales
- Pinturas de aviación
- Pinturas marinas
- Pinturas de automoción

De todos los diferentes tipos de pinturas existentes, la pintura de automoción es considerada por la mayoría de los observadores una de las más sofisticadas. Los objetivos que debe cumplir son, entre otros:

1. Finalidad protectora, es decir, ausencia de corrosión visual (tres años) y ausencia de corrosión por penetración (diez años).
2. Aspecto libre de defectos y alto brillo.

Para cumplir con estos requisitos, una de las propiedades generales que debe cumplir una pintura de automóvil es garantizar una buena resistencia al granallado. Por la misma razón, la adherencia entre las diferentes capas de pintura y el sustrato debe ser óptima.

5.3.1. Composición de las pinturas

Una pintura consta de los siguientes elementos:

- Un vehículo fijo, también llamado resina principal o ligante.
- Un pigmento.
- Disolventes.
- Aditivos.

La adecuada combinación de estos componentes constituyen en cada caso la 'fórmula' de la pintura, a la que se llega por vía empírica.

A continuación se comentarán las propiedades de cada uno de estos componentes:

5.3.1.1. Ligante

El ligante constituye la parte no volátil del medio de suspensión de la pintura. Este elemento es el encargado de formar una película continua de recubrimiento. El ligante también es el portador de las partículas pigmentarias y de los aditivos de la pintura. Una pintura se denomina en función de la resina que constituye el delante. Los vehículos más frecuentes son productos naturales grasos o resinas orgánicas sintéticas.

Una resina orgánica sintética está formada por unidades monoméricas que reaccionan para generar unidades poliméricas, que en una segunda etapa reticular para formar la película de pintura. Las pinturas de automoción pertenecen a esta última clase y las más representativas son las siguientes:

- Resina epoxi
- Resina de poliuretano
- Resina de poliéster
- Resina acrílica

Otros tipos de resina son las resinas alquídicas y alcídicas, que se pueden clasificar dentro de las resinas de poliéster, y las resinas de nitrocelulosa, que secan al aire.

Las propiedades de cada pintura determinarán el uso que se les dé en producción. En siguientes apartados se comentarán la estructura de los recubrimientos utilizados en automoción.

Para formar una película continua y protectora de pintura también se añaden agentes de reticulación, o *crosslinkers*, que reaccionan con las unidades de ligante y las unen entre ellas.

Los reticulantes más frecuentes son los siguientes:

- Melaminas: buenas propiedades mecánicas, brillo y resistencia. Poca tendencia de la absorción de humedad.
- Isocianatos: reaccionan rápidamente, buena durabilidad y adherencia. Tendencia a ser inestables a no ser que se utilice en sistemas 2K.

Propiedades que dependen del ligante: contenido en sólidos, aspecto y brillo, DOI, durabilidad, flexibilidad, dureza.

5.3.1.2. Pigmentos

Los pigmentos son sustancias generalmente bajo la forma de finas partículas, prácticamente insolubles en los medios de suspensión usuales, utilizados por sus propiedades ópticas, protectivas o decorativas.

5.3.1.3. Disolventes

El disolvente es el constituyente, simple o mixto, volátil en las condiciones normales de secado. El disolvente es capaz de disolver totalmente el ligante incluso a altas concentraciones.

Los disolventes sirven para fluidificar el ligante. La fluidez del ligante es muy importante para que la aplicación de la pintura sea correcta. Una mala aplicación hace que el aspecto del recubrimiento sea inaceptable.

Los disolventes disponibles son muy variados y deben ser compatibles con los ligantes orgánicos que se quieren disolver. Los más representativos son los siguientes:

- Hidrocarburos alifáticos: derivados del petróleo
- Hidrocarburos aromáticos: xileno, nafta, tolueno
- Cetonas: acetona, metiletilcetona, isofarona
- Ésteres: acetato de butilo, acetato de isobutilo
- Alcoholes: isopropanol, butanol, metanol, diacetona alcohol
- Glicoles: etilglicol, butilglicol, butildiglicol

Las propiedades de la pintura que dependen del disolvente son las siguientes: Viscosidad, olor, resistividad eléctrica, extensibilidad, aspecto.

Se tiende a eliminar disolventes de la composición de las pinturas por motivos medioambientales y económicos. Por un lado, el cumplimiento de las cada vez más exigentes normativas medioambientales obliga a desarrollar pinturas con bajo contenido en disolventes. Por otro lado, los disolventes son materiales que pierden por evaporación sin posibilidad de recuperarlos, con las pérdidas económicas que ello comporta.

Por estos motivos, uno de los campos más importante en el desarrollo de pinturas es reducir el porcentaje de componentes orgánicos volátiles. Actualmente ya se dispone de pinturas en polvo, que carecen por completo de disolventes.

5.3.1.4. Aditivos

Los aditivos son sustancias que se añaden en pequeña cantidad de la pintura para mejorar las condiciones de aplicación o de conservación, o bien para mejorar algunas propiedades específicas.

La adición de un determinado aditivo depende de si es necesario o no para mejorar ciertas propiedades de la pintura. Aunque los aditivos representan un bajo porcentaje del total de pintura (entre el 0% y el 5%) su edición afecta apreciablemente sus propiedades. Entre las funciones auxiliares que se desempeñan los aditivos destacan los agentes tixotrópicos, humectantes, extendedores, antisedimentantes, absorbedores de la radiación ultravioleta o incluso refractarios, entre otros.

Hay cuatro tipos principales de aditivos:

- Catalizadores: aumenta la velocidad de reacción.
- Estabilizantes o antisedimentantes: aminas o alcoholes, ayudar a mantener la estabilidad del sistema durante el almacenaje.
- Modificadores de superficie: ayudan a incrementar la extensibilidad del sistema.
- Absorbedores ultravioleta: protegen contra los rayos solares ultravioleta

Los catalizadores más importantes son ácidos orgánicos. Los antisedimentantes juegan un papel muy importante para mantener homogéneas las pinturas de base agua.

5.3.1.5. Cargas.

Las cargas son sustancias en polvo para satinar, matizar y hacer la película más compacta o de más relleno. Las cargas son prácticamente insolubles en el medio de suspensión y a menudo son blancas o tienen una débil coloración. Su índice de refracción es generalmente inferior a 1,7.

5.3.2. Formación de una película de pintura

El secado de una pintura consiste en la formación de una película continua, resistente y adherida sobre el sustrato. Los mecanismos de curado de la pintura son múltiples, y se clasifican según se trate de productos que secan al aire o que secan por vía térmica.

a) Secado a temperatura ambiente (al aire):

Secado por reacción con el oxígeno atmosférico: proceso de oxido-polimerización.

Secado físico: formación de la película por evaporación del disolvente

Secado por radiación ultravioleta: proceso de fotoreticulación

b) Secado vía térmica (en un horno):

Secado por mecanismos químicos: proceso de policondensación o de poliadición

Pinturas secado al aire

Actualmente no se utilizan en producción pinturas que secan al aire. Un ejemplo importante de pinturas que secan al aire son las pinturas de nitrocelulosa, por su uso en la industria de automoción durante mucho tiempo.

Pinturas secado al horno

Todas las pinturas que se utilizan en producción secan por vía térmica. Características de sus mecanismos de secado:

1. Mecanismo de policondensación:

Los monómeros que forman la resina sintética, al reaccionar para generar un polímero, eliminan un tercer compuesto, generalmente agua. El polímero obtenido tendrá un peso molecular inferior al de los monómeros de partida.

Principales pinturas que polimerizan por policondensación:

- Resinas epoxi, usadas para la pintura cataforética
- Resinas de poliuretano, usadas para la pintura de imprimación
- Resinas de poliéster, usadas para el fondo de color

2. Mecanismo de poliadición:

El polímero se forma sin generar ningún producto de eliminación. En este caso el polímero tiene el mismo peso molecular que los monómeros de partida.

Las resinas acrílicas, usadas en la formulación del barn polimerizan por poliadición. Químicamente, el mecanismo de polimerización de estas resinas es radicalario.

En el secado por vía térmica las unidades monoméricas que constituyen el ligante reticular a elevadas temperaturas mediante una reacción química. Las temperaturas de curado dependen de las características de cada pintura.

Propiedades de las películas de pintura

Las propiedades principales de las pinturas que secan al horno son las siguientes:

- Forman películas adherentes y flexibles
- Resistentes al agua y a los agentes químicos
- Obtención de películas brillantes

Las pinturas que secan al aire tienen peores propiedades que las que secan al horno, razón por la cual no se emplean en producción:

- Forman películas adherentes y flexibles
- Resistentes a los disolventes alifáticos
- Sensibles a los disolventes clorados, a los ácidos y a las bases

Propiedades de las clases de pintura que se utilizarán

Resinas epoxi:

- Buena adherencia y dureza
- Buena resistencia a los choques y a la abrasión
- En general, buena resistencia a los álcalis, al agua y a los productos químicos

Resinas de poliuretano:

- Buena resistencia a la abrasión, buena flexibilidad y resistencia al impacto
- Buena adherencia, buena estructura exterior
- Buena resistencia al agua, a los ácidos y a las bases
- Buena resistencia a los disolventes aromáticos

Resinas de poliéster:

- Alta resistencia a la tracción y a la rotura en flexión repetida
- Alta resistencia al impacto
- Mediana resistencia al desgarro
- Rigidez

Resinas acrílicas:

- Elevada dureza
- Alto brillo
- Resistencia variable a los disolventes

Pinturas en base agua

En este tipo de pinturas el ligante forma una emulsión en el medio acuoso, en lugar de formar una verdadera disolución. En estas pinturas se distingue una fase acuosa continua y una fase discontinua constituida de partículas poliméricas, insolubles en el medio de dispersión. El diámetro de estas partículas oscila entre 0,1 y 0,3 micras.

La imprimación que se va a utilizar es una pintura al agua. La imprimación contiene antisedimentantes (glicoles y aminas) para garantizar la estabilidad de la dispersión de pintura.

5.3.3. Pintura cataforética (KTL)

El pintado por cataforesis consiste en la introducción de la carrocería a pintar en un baño de pintura hidrosoluble, llamado KTL, donde se aplica una tensión eléctrica entre la carrocería y unas celdas introducidas en el propio baño que hacen el efecto de ánodo. La KTL tiene una función principalmente anticorrosiva.

El pintado por electrodeposición presenta varias ventajas respecto a otros procedimientos:

- Espesor de capa muy uniforme
- Sencilla regulación del espesor de capa de pintura
- Buena cubrición de bordes y aristas, con lo que mejora la resistencia a la corrosión
- Buen recubrimiento en espacios huecos, costuras rugosas y en los solapes de las chapas
- Tasa reducida de emisión de gases y vapores y funcionamiento ecológicamente satisfactorio

Este sistema de pintado también permite que la instalación de cataforesis tenga un aprovechamiento óptimo de la pintura sobrante.

El ligante catiónico de la KTL es una resina epoxi. Los pigmentos se eligen teniendo en cuenta sus propiedades anticorrosivas, color y cubrición.

La película obtenida tiene un espesor uniforme y garantiza un pintado correcto incluso en los interiores y cuerpos huecos. Su resistencia a las deformaciones mecánicas también es muy buena (granallado, embutición, doblado, impactos, etc).

Tras la aplicación es necesario que la carrocería pase por un horno para que la película de pintura polimerice y tenga una óptimas propiedades.

Especificaciones de la etapa [Figura 5.6]:

- Tiempo de inmersión de 220 ± 30 s.
- Temperatura de 29 ± 1 °C
- Potencial eléctrico variable, en torno a 360 ± 20 V, pero nunca superior a 400V.

Curva teórica estándar para KTL:

Tiempo / temperatura	15 min elevación hasta 185 ± 5 °C
	15 min mantenidos a 185 ± 5 °C

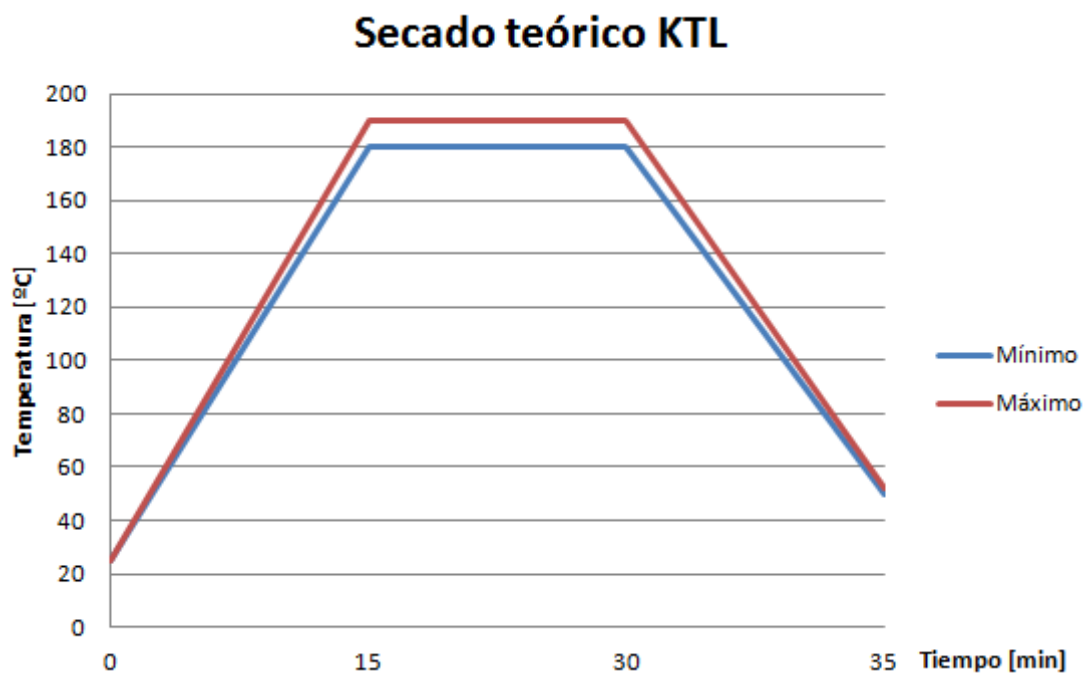


Figura 5.6. Curva teórica estándar para KTL

El espesor de KTL debe estar comprendido entre 17 y 22 micras.

5.3.4. Imprimación

La función de la imprimación es proporcionar una superficie uniforme carrocería para poder aplicar el fondo. La tonalidad de la imprimación debe ser lo más parecida posible a la del fondo que se aplicara encima, por motivos estéticos en caso de faltas de adherencia. Actualmente se utiliza en producción imprimación blanca, roja, gris y antracita.

La imprimación se aplica en producción sólo en la superficie externa de las carrocerías, a temperatura ambiente y en una cabina especial. Las carrocerías se pintan con pistola electrostática.

El secado se hace mediante un horneado [Figura 5.7]. Éste necesita de una etapa de previa de 5 minutos a 70 ± 10 °C para evaporar la mayor parte del agua presente antes de subir la temperatura a 165 ± 5 °C y mantenerla 15 minutos. El presecado de la imprimación es necesario para evitar el hervido de la pintura, que en caso contrario formaría poros.

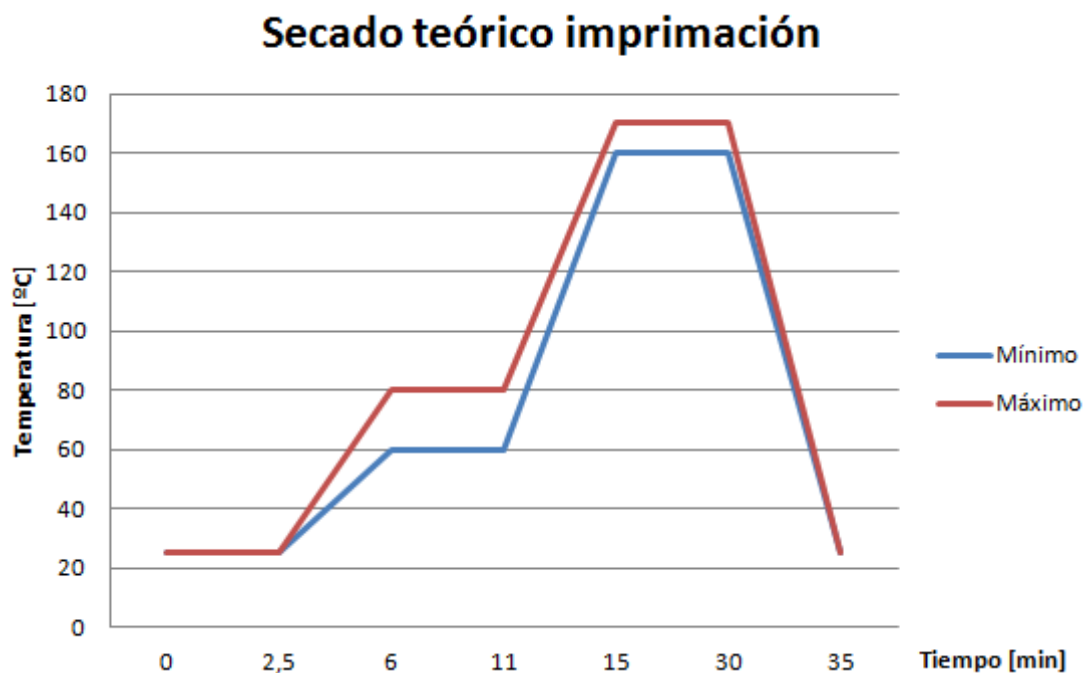


Figura 5.7. Curva teórica estándar para imprimación al agua

El espesor de imprimación debe estar comprendido entre 30 y 40 micras.

5.3.5. Fondo de color

La función del fondo es principalmente estética. La base de color es la encargada de dar la tonalidad deseada a la carrocería. Se puede distinguir entre bases metalizadas y bases pastel. Un color pastel es aquel que tiene una tonalidad independiente del ángulo con que se observe. Un color metalizado contiene pequeñas partículas de aluminio o mica que dan cambios de tonalidad a la pintura según el ángulo con que se observe.

El espesor de aplicación de un color depende de su tonalidad. En producción se aplica el espesor necesario para que las piezas metálicas tengan la tonalidad deseada. Un espesor entre 10 y 15 micras suele ser suficiente en la mayoría de los casos. La tonalidad de las carrocerías debe situarse dentro de un margen de tolerancia establecido para cada color. Para ello, la tonalidad se debe cuantificar a partir de una serie de sistemas de medida y hay que comprobar que las desviaciones están permitidas.

5.3.6. Barniz

La finalidad del barniz es proporcionar brillo y una buena distensión a la superficie acabada de la carrocería. La distensión da una idea de la finura del acabado final, de su rugosidad. Una mala distensión provoca una falta de efecto espejo en la superficie, con aparición de luces y sombras. La falta de distensión también se llama efecto piel de naranja y es cuantificable.

El barniz se aplica sobre el color cuando todavía para que su adherencia sea optima. La capa de barniz la de mayor espesor de todas, ya que espesor es de 40 micras aproximadamente.

La aplicación del color y del barniz se realiza en producción en el Taller 5. Como ya se ha dicho, la aplicación es húmedo sobre húmedo y hay una etapa final de secado en un horno para que polimericen [Figura 5.8].

Especificaciones de etapa:

- Ventilar cinco minutos a temperatura ambiente
- Horneado 15 minutos a 140 ± 5 ° C

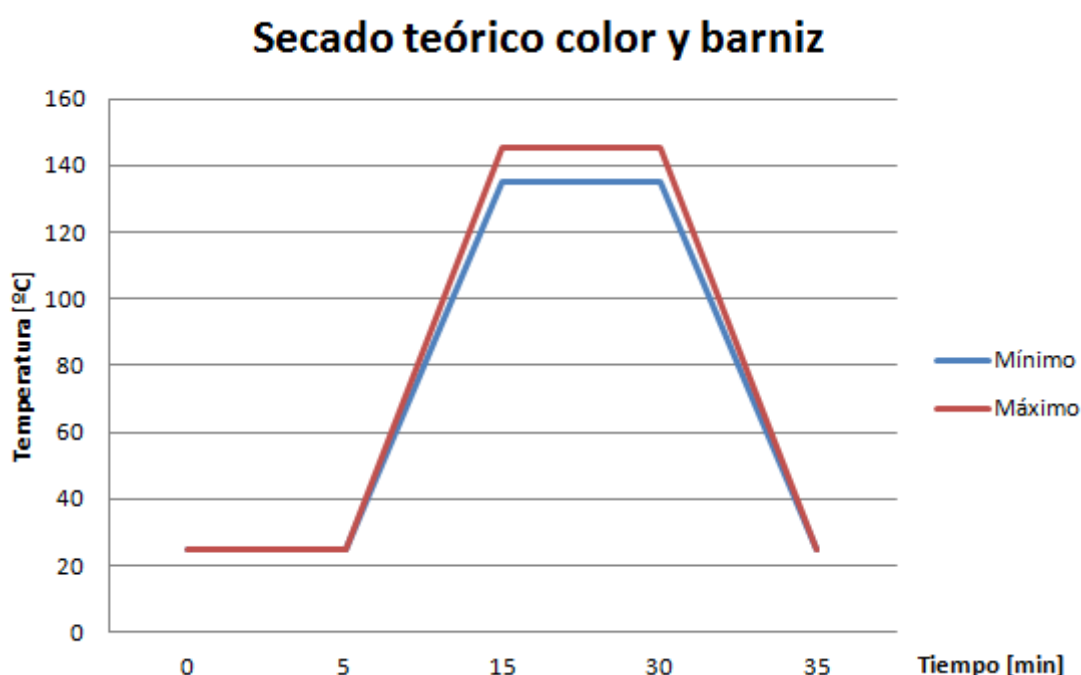


Figura 5.8. Curva teórica estándar para color y barniz

5.4. Procesos pinturas SEAT

5.4.1. Proceso actual

Actualmente en SEAT recibe dos tipos de chapa desde los proveedores. Estos son acero galvanizado por inmersión, o cincado al fuego, y acero electrocincado. En el caso del electrocincado este ya viene prefosfatado, y se utiliza en la panelería exterior de formas complicadas por sus propiedades de pintado y de embutición, pero tiene el inconveniente de ser el producto más caro. Mientras que el cincado al fuego es el material más barato de los dos pero por sus propiedades de pintado se utiliza sobretodo en panelería interior que no necesita ser pintada.

Línea del proceso

El proceso de pinturas de SEAT está dividido en dos talleres, el taller cuatro y el cinco. En el primero de ellos se potencia la protección de la chapa de ataques corrosivos además de eliminar el riesgo de filtración de agua y residuos. Mientras que en el cinco se encuentra la fase estética del proceso dónde se busca un aspecto visual excelente y duradero en el tiempo.

Al taller cuatro llega la carrocería ensamblada pero sin ningún tratamiento superficial a parte de los ya realizados por el proveedor. Por lo tanto, el primer proceso al que se somete es a una serie de lavados y desengrasas para, a continuación, entrar en un baño de fosfatación con su posterior lavado y pasivado. La siguiente fase es el pintado por cataforesis dónde el ánodo se encuentra en las paredes de la cuba y el cátodo es la carrocería. Una vez sale de la cuba de KTL pasa por otro lavado, un escurrido y un secado para entrar en el primer horno de secado. Por último, en este taller se realizan los sellados en PVC en bajos y se aplican masillas finas en los elementos móviles. Al finalizar la aplicación, entra en el segundo horno, un horno de pregelificación, y a la salida se dirigen al taller cinco.

Al entrar la carrocería se encuentra con una línea de preparación superficial dónde se eliminan los posibles defectos sobre la capa de KTL. A continuación se realiza una limpieza previa a las cabinas de pintado para evitar que entren fibras u otros elementos. Una vez dentro se aplican las dos manos de imprimación y entra en un horno de polimerización. El siguiente paso es otra línea de preparación superficial para eliminar los posibles defectos sobre la capa de imprimación, una cabina de lavado para eliminar polvo y otras partículas sólidas con el correspondiente horno de secado de agua. La siguiente fase es la cabina de pintado de color donde hay un proceso de pintado de interiores y dos de pintados de exteriores. Para finalizar se encuentra un horno intermedio antes de la cabina de barniz y el último horno de todo el proceso de pinturas. Una vez sale, se realiza una revisión final y se envía a montaje.

6. Procedimiento experimental

6.1. Materiales

Se realizan tres bloques de ensayos, un bloque para cada propuesta de material. Y dentro de cada bloque se ensaya el material que se propone con el material de referencia que se supone que va a sustituir y si se considera conveniente también se ensaya con el segundo material de referencia.

Esto significa que si se realiza el bloque del NIT se procesaran las chapas de este material más las de el o los materiales de referencia. Y esto para cada una de las propuestas.

A continuación se observa en cada caso que es lo que se ha llevado a cabo:

NIT (Arcelor)

Como ya se ha comentado antes, el NIT es un cincado al fuego con un recubrimiento inorgánico. Cabría esperar pues que sustituyese al cincado al fuego, pero por el contrario, su principal aplicación será sustituir al electrocincado prefosfatado en los capós. Por este motivo los ensayos se han realizado comparativamente a ambos materiales de referencia.

Electrocincado prefosfatado bajo en nitrato (Thyssen)

Consiste en un electrocincado que viene fosfatado por el proveedor también pero el baño de fosfatación contiene menos nitratos que el estándar.

Este material trataría de sustituir al electrocincado prefosfatado normal, por lo tanto, como material de referencia se cogería únicamente el electrocincado prefosfatado habitual.

PrimeProtect (Thyssen)

Ya se ha mencionado que este material consiste en un cincado al fuego cuyo galvanizado contiene un porcentaje de magnesio. De este material se han facilitado chapas con dos espesores de galvanizado diferentes, unas de cinco micras y otras de siete micras.

Ambas clases de este material se han ensayado comparativamente con ambos sustratos de referencia ya que no se han definido muy claramente cuál sería la aplicación dentro de la carrocería.

6.1.1. Preparación de las probetas

Las probetas tienen unas medidas de 10x20cm en todos los casos.

Se aplicara la pintura por la línea de producción para realizar todos los ensayos en las mismas condiciones en las que se procesa una carrocería.

Para aplicar la KTL las chapas de acero se pasan por un alambre, que después se coloca en el hueco del motor de una carrocería antes de que entre en el TTS (Taller 4). Hay que colocarlas de manera que no se toquen entre ellas a lo largo de todo el proceso para garantizar que la KTL se deposite correctamente. Las chapas tendrán el mismo tratamiento de desengrase, lavado, activación, fosfatado y pintado que la carrocería.

Una vez sale del horno de KTL entra la carrocería en un pulmón donde se debe retirar el alambre de la carrocería y una vez retirado se separan todas las chapas.

Para aplicar el resto de capas de pinturas se ha de buscar en el taller 5 una carrocería que haya sido rechazada pero que sea apta para procesarla por este taller. Cuando ya hemos localizado esta chatarra se enganchan con cinta las chapas sobre el capó y se hacen pasar por la línea especificando las condiciones de imprimación, color y barniz.

Al finalizar este proceso la chatarra se vuelve a encontrar en un pulmón donde se debe apartar de la línea y retirar las chapas para llevarlas al laboratorio.

6.1.2. Mediciones previas

Antes de realizar los ensayos se hacen diversas mediciones como:

- Espesor de la KTL
- Rugosidad de KTL
- Espesor a paquete completo
- Estructura

Estas mediciones se hacen para comprobar que no ha habido ninguna anomalía durante el proceso de pintado. Además de reflejar el comportamiento de la pintura sobre los sustratos. También sirven en caso de que alguno de los ensayos diese un resultado inesperado, podríamos saber si es debido o no a uno de estos factores.

1. Espesor de la KTL: este espesor debe encontrarse por encima de 17µm. Este dato se obtiene a través de un instrumento que mide el espesor a través del método por inducción. Este método es el mejor para capas finas de metales no férricos o esmaltes, pintura barniz, sobre acero.

2. Rugosidad KTL: la rugosidad de la KTL es una medida del perfil de la superficie de ésta. Se ha medido con un rugosímetro de palpador mecánico y su medida debe ser menor de 0,5.
3. Espesor a paquete completo: se utiliza el mismo mecanismo de medición y su valor debe ser superior a 100µm.
4. Estructura: La estructura es un parámetro que mide la distensión del barniz. Se mide con un instrumento que emite luz laser y detecta el perfil de la superficie. Los parámetros deben ser: LW<5 y SW<25.

6.2. Ensayos de adherencia

6.2.1. Granallado

El granallado es un ensayo que se realiza en laboratorio para evaluar la adherencia de las pinturas que se utilizan. De esta manera se controla que las propiedades de la pintura sean aceptables y que el producto que sale de producción tiene la calidad exigida. La normativa que se sigue es documentación interna del grupo Volkswagen.

Aparatos de verificación y medios auxiliares

- Aparato de granallado
- Granalla de acero canteado, 4-5 mm
- Cinta adhesiva de la firma anchura 80 mm

El aparato de prueba corresponde a la construcción y a las condiciones de la fábrica Volkswagen. Todos los productos de pintura se verifican mediante este aparato.

Realización

Para comprender mejor el procedimiento es conveniente consultar el plano de la página siguiente. En primer lugar se abre la llave de suministro de aire de la red y se enciende aparato (9). Para calibrar el aparato correctamente hay que utilizar una probeta que no sirva y regular el caudal de granalla con el mando 12, de forma que impacte a 2 bar de presión en 10 segundos. Se colocan las probetas en el soporte 15, con la cara pintada orientada hacia el interior del aparato, y se proyecta la granalla con el interruptor 13. La granalla que ha impactado se recoge del recipiente 14. Para tener un granallado hay que repetir este proceso dos veces. Cada 50 granallados hay que renovar la granalla.

A continuación se coloca un trozo de cinta de 12-15 cm sobre la superficie dañada y se pasa el pulgar por encima para asegurar que se ha adherido bien. El extremo de cinta que sobresale se dobla hacia arriba y se estira para despegarla. Esta operación debe hacerse tirando de una sola vez. Este paso es necesario para poder valorar la falta de adherencia entre todas las superficies.

Alcance de los daños

Hay que identificar por separado el alcance de los impactos que han llegado hasta el sustrato, KTL, imprimación y color. En una etapa siguiente se valorarán estos daños.

Dentro de los impactos que dejan el sustrato al descubierto se debe determinar si se ha desprendido el recubrimiento de zinc o no. Para identificar el tipo de superficie se dispone de dos disoluciones reveladoras. El sustrato de acero se revela con una disolución al 5% en masa de CuSO_4 en ácido sulfúrico. Una superficie galvanizada se reconoce preparando una disolución al 5% en masa de CuSO_4 en ácido clorhídrico al 10%. La probeta se debe sumergir en una de las dos disoluciones anteriores. Si ninguna de las disoluciones oxida la superficie de los impactos se puede deducir que hay KTL al descubierto.

En caso de que sea difícil saber hasta qué capa han tenido lugar los impactos se deben mirar las probetas con un microscopio óptico. Lo más conveniente es observarlas todas al microscopio para evitar equivocaciones.

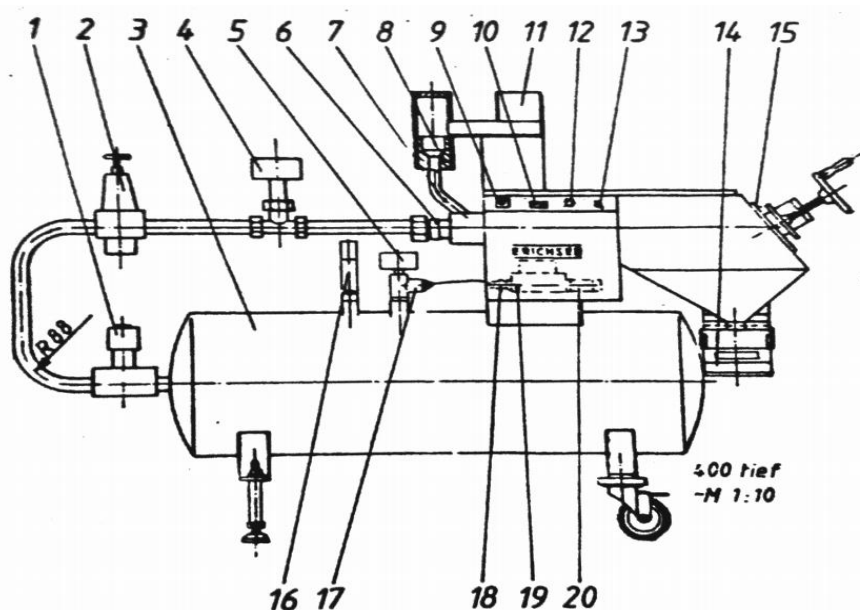


Figura 6.1. Aparato de granallado

1 Válvula de escape	9 Interruptor general	14 Depósito
2 Válvula de reducción de presión	10 Contador de pruebas	15 Probeta
3 Acumulador de aire	11 Alimentador vibratorio	16 Válvula de seguridad
4 Manómetro (salida de aire)	12 Ajuste para el tiempo de vibración	17 Interruptor de presión
5 Manómetro (acumulador)	13 Interruptor giratorio para secuencias de pruebas	18 Conexión flexible
6 Inyector		19 Válvula de llenado
7 Tubo de aceleración		20 Válvula de no retorno
8 Embudo		

Ejemplos de identificación del alcance de los daños con el microscopio:

- El sustrato se distingue de la KTL porque tiene brillo metálico. En ocasiones no se distinguen visualmente porque tienen tonalidades parecidas.
- El acero base distingue del recubrimiento de zinc porque es más brillante. El recubrimiento de zinc es más oscuro y mate porque se ha tratado superficialmente.
- El fondo blanco candy se distingue de la imprimación blanca porque es ligeramente más oscuro.
- La imprimación gris se distingue del fondo Eissilver porque es ligeramente más oscura.
- La imprimación antracita en ocasiones retiene partículas del fondo metalizado que se ha aplicado encima. En estos casos la tonalidad de la imprimación no es la esperada

En ocasiones también es muy útil observar los fragmentos de pintura pegados a la cinta adhesiva porque indican claramente el alcance de los daños en cada caso. Este

método solamente sirve para ayudar en la identificación porque no todos los fragmentos de pintura quedan adheridos la cinta.

Evaluación de los resultados

La magnitud de los daños que llegan hasta cada capa de pintura se valoran visualmente por comparación con una escala de valores en formato DIN A3 que proporciona el método de ensayo PV 3.14.7. Los valores de adherencia varían entre V-0 y V-5 y se basan en el porcentaje de superficie que queda al descubierto. La siguiente tabla recoge las equivalencias:

VALOR	% SUPERFICIE DESCUBIERTA
V - 0	0
V - 0,5	0,2
V - 1,0	1,0
V - 1,5	2,5
V - 2,0	5,5
V - 2,5	10,7
V - 3,0	19,2
V - 3,5	29,0
V - 4,0	43,8
V - 4,5	58,3
V - 5,0	81,3

Tabla 6.1. Equivalencias entre valores de adherencia y porcentaje de superficie descubierta

La falta de adherencia tolerada depende del caso que se considere:

ADHERENCIA ENTRE CAPAS	VALOR TOLERADO
Sustrato - KTL	V – 0,5
KTL - Imprimación	V – 1,5
Imprimación - Color	V – 1,5

Tabla 6.2. Valores de adherencia tolerados según las capas.

El valor V-1,5 es el máximo permitido para la adherencia color-imprimación. Si la imprimación y el color tienen una tonalidad parecida el método de ensayo permite un valor máximo V-2,0. Esta última consideración está registrada en la norma DIN 55996-1, no en el método de ensayo seguido.

6.2.2. Ciclos térmicos

Los ciclos térmicos es un ensayo que se realiza en laboratorio para evaluar la adherencia de las pinturas después de condiciones climáticas variantes con el fin de realizar un ensayo de corta duración con efecto acelerado. De esta manera se controla que las propiedades de la pintura sean aceptables y que el producto que sale de producción tiene la calidad exigida. La normativa que se sigue es documentación interna del grupo Volkswagen.

Aparatos de verificación y medios auxiliares

- Cámara de ciclos térmicos
- Aparato de granallado
- Granalla de acero canteado, 4-5 mm
- Cinta adhesiva de la firma anchura 80 mm

Los aparatos de prueba corresponden a la construcción y a las condiciones de la fábrica Volkswagen. Todos los productos de pintura se verifican mediante este aparato.

Realización

En primer lugar hay que acondicionar la cámara a 23°C y 30% de humedad relativa. Una vez hecho esto, se colocan las probetas dentro de la cámara climática durante cinco días. Dentro de esta cámara se producen 10 ciclos y cada ciclo dura 720 minutos (12h) y consiste en:

- 60 min fase de calentamiento : a +80°C y 80% de humedad relativa
- 240 min tiempo de parada: a +80°C y 80% de humedad relativa
- 120 min fase de enfriamiento: a -40°C, al alcanzar el punto de congelación: aproximadamente 30% de humedad relativa a partir de $T < 0^{\circ}\text{C}$ se deja de regular la humedad del aire.
- 240 min tiempo de parada: a -40°C, no se regula la humedad del aire
- 60 min fase de calentamiento: a +23°C, a partir de $T \approx 0^{\circ}\text{C}$ se regula la humedad relativa a 30%.

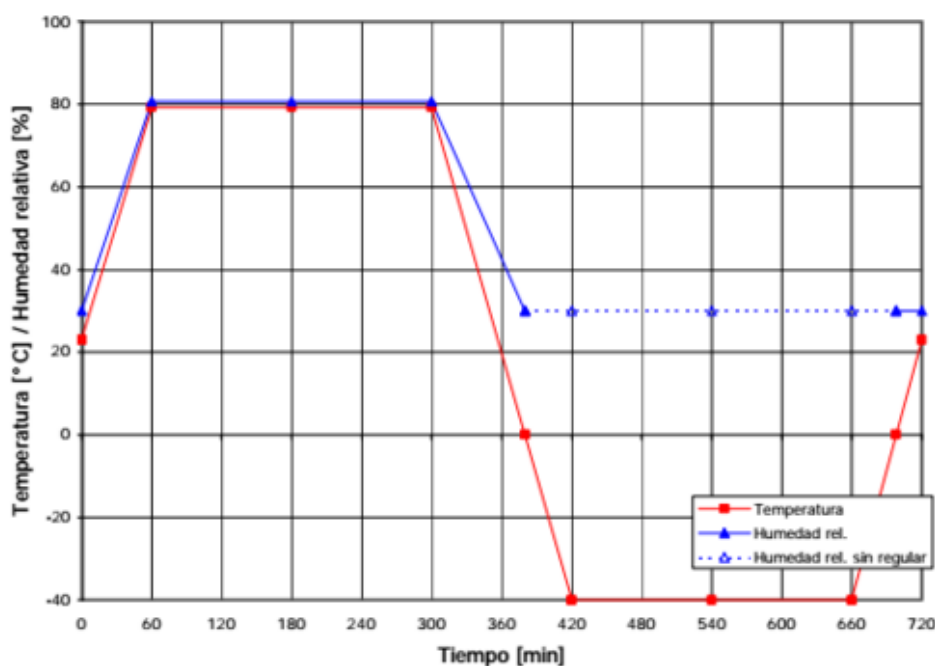


Figura 6.2. Ciclo de ensayo normativa Volkswagen

6.3. Ensayo de corrosión

Los ensayos de corrosión que se realizan en el laboratorio tienen la finalidad de comprobar que capacidad tiene la pintura de prevenir la corrosión de la chapa. Por este motivo se realiza el ensayo tanto a paquete completo (sobre KTL, imprimación, color y barniz) como únicamente sobre KTL, ya que como ya se ha mencionado antes, la finalidad principal de esta pintura es prevenir de la corrosión. La normativa que se sigue es documentación interna del grupo Volkswagen.

Aparatos de verificación y medios auxiliares

- Aparato de granallado
- Cámara de niebla salina
- Granalla de acero canteado, 4-5 mm
- Cinta adhesiva de la firma anchura 80 mm

El aparato de prueba corresponde a la construcción y a las condiciones de la fábrica Volkswagen.

Realización

Lo primero que se debe hacer para llevar a cabo este ensayo es realizar un solo granallado sobre las probetas. Para hacerlo se sigue el punto 6.2.1 *Granallado: Realización* de este trabajo pero una única vez.

A continuación se introducen las probetas en la cámara de corrosión, para hacerlo correctamente, estas probetas se colocan sobre un soporte diseñado específicamente para este tipo de probetas y este tipo de máquinas.

Ahora hay que hacer una diferenciación sobre las probetas pintadas a paquete completo y las pintadas a KTL.

- Chapas a paquete completo: Se introducen en la máquina de corrosión durante treinta ciclos que esto equivale a seis semanas.
- Chapas a KTL: se introducen en la máquina de corrosión durante doce semanas (3 meses) que esto equivale a sesenta ciclos.

Cada ciclo tiene una duración de 24h y consta de:

- 4 h en ensayo en niebla salina:
 - o Solución acuosa al 5% de cloruro sódico (contenido de 50 ± 10 g/l)
 - o El pH medio de nebulizado debe ser de 6,5 a 7,2, medido a $25 \pm 2^\circ\text{C}$
 - o Sobrepresión del aire: 1,12 bar
 - o Temperatura: 48°C
- 4 h de almacenamiento en clima normalizado:
 - o Temperatura: 23°C
 - o Humedad relativa: 50%
- 16 h de almacenamiento en condiciones de humedad y calor:
 - o Temperatura: $43 \pm 3^\circ\text{C}$
 - o Humedad relativa: 100%

Al final de cada grupo de cinco ciclos se produce una fase de reposo de 2 días en clima normalizado.

Una vez finalizado este proceso se sacan las probetas de la cámara y se limpian con ácido oxálico al 5% y se dejan reposar durante 24 h. Transcurrido este tiempo se vuelven a granallar una sola vez siguiendo el punto 6.2.1 *Granallado: Realización*.

Alcance de los daños

Hay que identificar las zonas de la chapa en las que se ha producido corrosión.

Evaluación de los resultados

La magnitud de los daños se valoran visualmente por comparación con una escala de valores en formato DIN A3 la misma que hemos utilizado para el ensayo de granallado. Los valores siguen variando entre V_c-0 y V_c-5 y se basan en el porcentaje de chapa que ha sufrido corrosión. La siguiente tabla recoge las equivalencias:

VALOR	% SUPERFICIE CORROÍDA
$V_c - 0$	0
$V_c - 0,5$	0,2
$V_c - 1,0$	1,0
$V_c - 1,5$	2,5
$V_c - 2,0$	5,5
$V_c - 2,5$	10,7
$V_c - 3,0$	19,2
$V_c - 3,5$	29,0
$V_c - 4,0$	43,8
$V_c - 4,5$	58,3
$V_c - 5,0$	81,3

Tabla 6.3. Equivalencias entre valores de corrosión y porcentaje de chapa corroída

La corrosión tolerada independientemente de si se trata de corrosión a paquete completo o a KTL es $V_c - 2,5$.

7. Resultados

7.1. Bloque de ensayos I: Electrocoincado prefosfatado bajo en nitrato

A continuación de adjunta una tabla donde se agrupan los resultados de estos ensayos [Tabla 7.1]

Se observará que los ensayos se han realizado tanto en blanco como en negro. Por norma general los ensayos se realizan sobre Blanco Candy, con símbolo B9A, esto es debido a que se trata de un color pastel, por lo tanto no contiene partícula metálica, y es el color que contiene más porcentaje de pigmento. Estas características hacen que sus propiedades de adherencia habitualmente sean peores que las del resto de colores. Por lo tanto, es el color más crítico.

De todos modos, se ha querido ensayar también con un color metalizado para comprobar el comportamiento de éste sobre el nuevo sustrato. Y se ha escogido el negro ya que tiene una imprimación diferente a la imprimación blanca, utilizada bajo el Blanco Candy. Con el Negro Mythoschwarz se utiliza la imprimación antracita.

En la tabla aparece en el siguiente orden:

- Rugosidad de la probeta una vez aplicada la KTL.
- Valor de la corrosión a KTL
- La estructura del color medida tanto para onda corta (SW) como para onda larga (LW).
- Valor de granallado, ciclos térmicos y corrosión a paquete competo (PC) para ambos colores.

	ENSAYO	Valor prescrito	EZPH de referencia		EZPH bajo en nitrato	
			Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración
	Rugosidad KTL	Ra<0,5	0,3	OK	0,4	OK
	Corrosión KTL	Vc ≤ 2,5	3	NO OK	3	NO OK
Blanco Candy (B9A)	Estructura PC	LW<5	3,3	OK	3,6	OK
		SW<25	18,4	OK	20,1	OK
	Granallado	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1 sustrato - KTL	NO OK	0,5 sustrato - KTL	OK
	Ciclos térmicos	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1,5 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK
	Corrosión PC	Vc ≤ 2,5	2,5	OK	1,5	OK
Negro Mythoschwarz (Y9T)	Estructura PC	LW<5	2,3	OK	3,3	OK
		SW<25	11,2	OK	14,1	OK
	Granallado	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK
	Ciclos térmicos	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK
	Corrosión PC	Vc ≤ 2,5	2,5	OK	2	OK

Tabla 7.1: Resultados comparativos de ensayos de electrocincado prefosfatado bajo en nitrato contra electrocincado prefosfatado de referencia.

Los valores prescritos que aparecen en la tabla son los correspondientes a cada uno de los ensayos, todos estos valores se encuentran en el apartado de ese ensayo en concreto.

Tras la evaluación de los resultados obtenidos podemos decir que el material de prueba no empeora con respecto al material de referencia en ningún caso. Por ejemplo:

- Corrosión a KTL, ambos se encuentran en no correcto ya que el valor es de 3 y el valor tolerable para este tipo de ensayo es 2,5.
- La estructura a paquete completo es una propiedad de apariencia, si nos encontramos en los parámetros estipulados, $LW < 5$ y $SW < 25$, evitamos un efecto que se llama piel de naranja, que como ya se ha comentado anteriormente, es debido a una mala distensión del barniz. En este caso, observamos que para ambos sustratos estos parámetros están en correcto por lo que no se produce este efecto.

Y por otro lado, observamos que sí que hay algunos casos dónde el material de prueba mejora al material de referencia. Esto se produce en los tres ensayos realizados sobre el Blanco Candy:

- Granallado: en este caso hay una mejora sustancial ya que pasa de no correcto a correcto, ya que el valor tolerable para adherencia sustrato – KTL es de 0,5 y en el caos del electrocincado prefosfatado estándar la valoración es de 1 mientras que en el bajo en nitratos es de 0,5.
- Ciclos térmicos: en este caso, ambos se encuentran en no correcto a pesar de haber mejorado el material de serie.
- Corrosión a paquete completo: en este caso, ambos se encuentran en un valor por debajo del tolerable por lo tanto, ambos están en correcto pero el material de referencia se encuentra en el límite mientras que el electrocincado prefosfatado bajo en nitrato esta un punto por debajo de éste.

Fotos de las chapas ensayadas

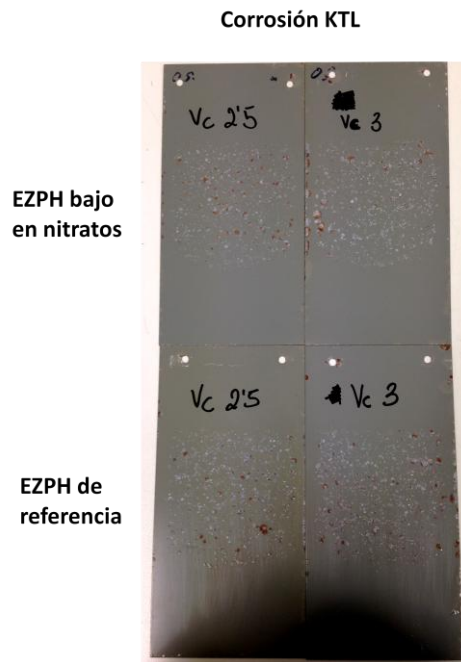


Imagen 7.1: Chapas de electrocincado prefosfatado de referencia y de electrocincado prefosfatado bajo en nitratos tras el ensayo de corrosión a KTL.

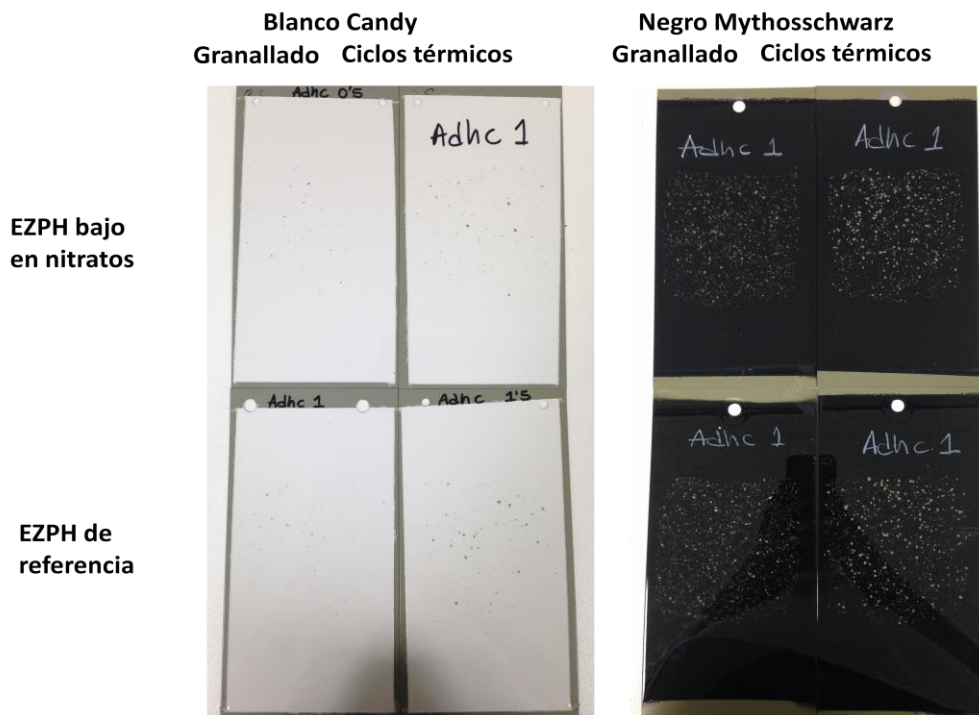


Imagen 7.2: Chapas de electrocincado prefosfatado de referencia y de electrocincado prefosfatado bajo en nitratos tras los ensayos de granallado y ciclos térmicos.

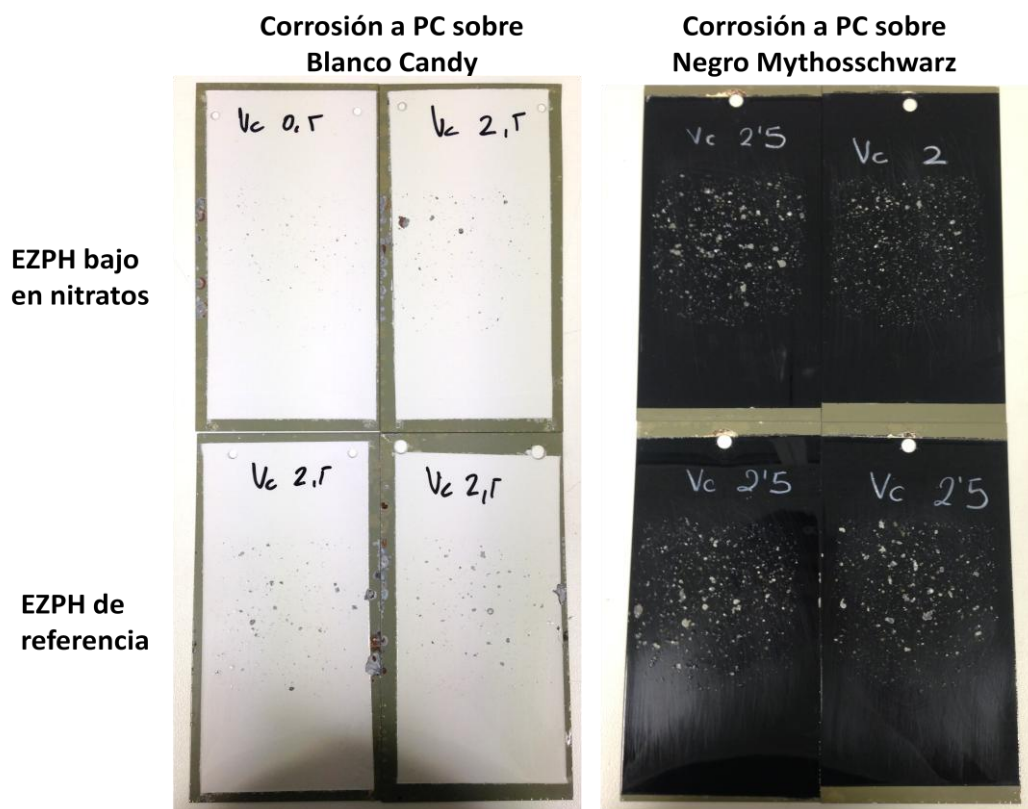


Imagen 7.3: Chapas de electrocincado prefosfatado de referencia y de electrocincado prefosfatado bajo en nitratos tras los ensayos de corrosión a paquete completo sobre Blanco Candy y Negro Mythosschwarz

7.2. Bloque de ensayos II: NIT

En este caso hay que tener en cuenta que ya se habían realizado ensayos sobre este material en los últimos años y que este es el último bloque de ensayos de este tipo antes de la prueba industrial.

Por lo tanto observamos que hemos realizado ensayos sobre cuatro colores diferentes. La razón de la realización sobre el Blanco Candy es, como ya se ha comentado en el apartado anterior, porque se trata del color más crítico desde el punto de vista de adherencia. También la elección del Negro Mythosschwarz comparte las razones del apartado anterior

Por otro lado, aparecen dos colores nuevos, el Eissilver, que se trata de un gris claro metalizado, y el Monsungrau, el cual también es un gris metalizado pero en este caso oscuro. La elección del Eissilver es debido a que utiliza la imprimación gris, una que todavía no se había utilizado sobre este sustrato, y de esta manera, en este ensayo aparecen todas las imprimaciones que utiliza SEAT, ya que la imprimación roja actualmente se utiliza únicamente sobre los Audi Q3.

La razón de ser del Monsungrau es que se trata del tercer color con más producción detrás del blanco Candy y del Negro Mythossschwarz.

Por último, en la tabla aparecen: rugosidad a KTL, y por otro lado estructura, granallado y ciclos térmicos a paquete completo los tres [Tabla 7.2]. No aparece ningún ensayo de corrosión ya que en los ensayos realizados anteriormente sobre este material se obtuvo un buen resultado y no se ha considerado pertinente repetirlos.

	ENSAYO	Valor prescrito	NIT		HDG de referencia		EZPH de referencia	
			Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración
	rugosidad KTL	Ra<0,5	0,35	OK	0,44	OK	0,33	OK
Blanco Candy (B9A)	Estructura PC	LW<5	3,15	OK	4,3	OK	4	OK
		SW<25	20	OK	12	OK	18,5	OK
	Granallado	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	0,5 sustrato - KTL	OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK
	Ciclos térmicos		0,5 sustrato - KTL	OK	1,5 sustrato - KTL	NO OK	1,5 sustrato - KTL	NO OK
Negro Mythossschwarz (Y9T)	Estructura PC	LW<5	3,4	OK	3,6	OK	2,1	OK
		SW<25	15,1	OK	17,4	OK	14	OK
	Granallado	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1,5 color - HF	OK	1 a HF-KTL	OK	1 sustrato - KTL	NO OK
	Ciclos térmicos		1 HF-KTL	OK	2,5 HF-KTL	NO OK	2 HF-KTL	NO OK
Eissilver (W7Z)	Estructura PC	LW<5	2,4	OK	3	OK	2,3	OK
		SW<25	16,6	OK	14,6	OK	13,6	OK
	Granallado	HF: V≤2; KTL ≤1,5	1 HF-KTL	OK	1 HF-KTL	OK	0,5 sustrato - KTL	OK
	Ciclos térmicos		1,5 color - HF	OK	1,5 HF-KTL	OK	1,5 sustrato - KTL	NO OK
Monsungrau (X7R)	Estructura PC	LW<5	3,5	OK	4,1	OK	2,3	OK
		SW<25	19,2	OK	17,1	OK	11,9	OK
	Granallado	HF: V≤2; KTL ≤1,5	1 HF-KTL	OK	1 HF-KTL	OK	1 sustrato - KTL	NO OK
	Ciclos térmicos		1,5 HF-KTL	OK	1,5 HF-KTL	OK	1 sustrato - KTL	NO OK

Tabla 7.2: Resultados comparativos de ensayos de NIT contra cincado al fuego de referencia y electrocincado prefosfatado de referencia.

Tras la evaluación de los resultados observamos que en este caso, el material de prueba tampoco empeora los materiales de referencia en ningún ensayo.

1. Propiedades que no varían con el recubrimiento de NIT:
 - Rugosidad de KTL
 - Estructura a paquete completo para los cuatro colores
2. Propiedades que mejoran con el recubrimiento de NIT:
 - Granallado: tanto en negro Mythoschwarz como en blanco Candy, el NIT mejora con respecto a ambos materiales de referencia. Mientras que en Eissilver como en Monsungrau la mejora es únicamente con respecto al electrocincado prefosfatado ya que con respecto al cincado al fuego no hay variación.
 - Ciclos térmicos: se observa una mejora con respecto a los dos materiales de referencia en todos los colores menos en el Monsungrau. En este caso únicamente mejora con respecto al electrocincado prefosfatado y se mantiene igual con respecto al cincado al fuego.

Cabe destacar que el NIT en ningún caso se encuentra en no correcto, mientras que el electrocincado prefosfatado, material al cual sustituiría, se encuentra en no correcto en siete de los casos. Por otro lado, también se observa una mejora sustancial con respecto al cincado al fuego.

Fotos de las chapas ensayadas

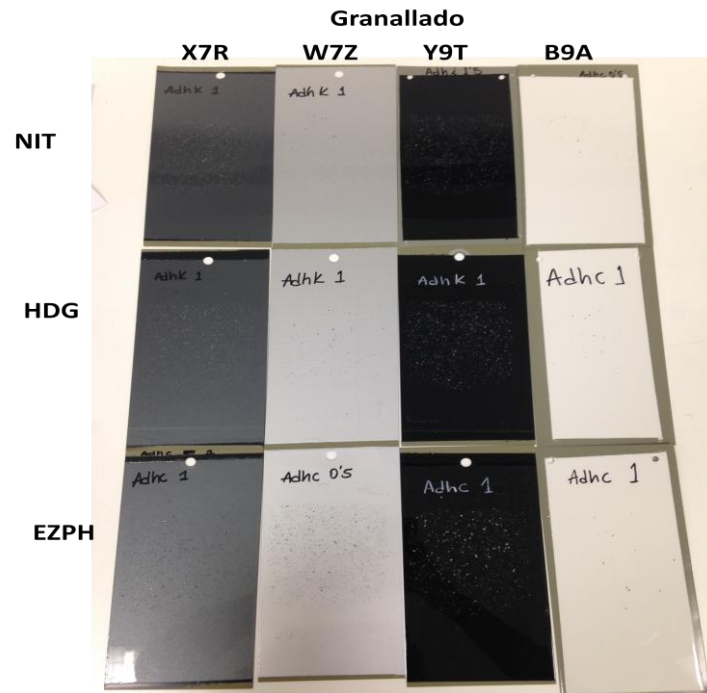


Imagen 7.4: Chapas de NIT, cincado al fuego de referencia, electrocincado prefosfatado tras el ensayo de granallado sobre los cuatro colores.

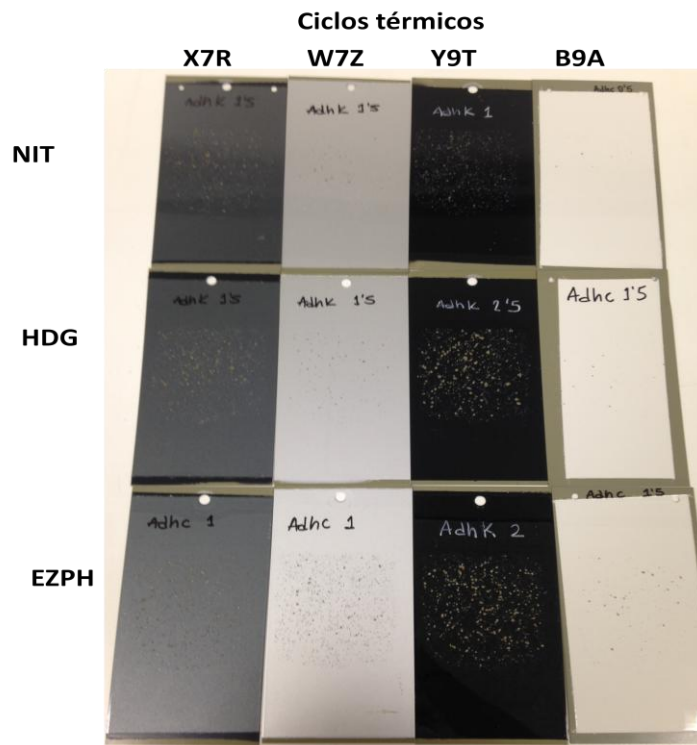


Imagen 7.5: Chapas de NIT, cincado al fuego de referencia, electrocincado prefosfatado tras el ensayo de ciclos térmicos sobre los cuatro colores.

7.3. Bloque de ensayos III: PrimeProtect

En este caso, para la realización de los ensayos se nos facilitaron un número bastante reducido de chapas de PrimeProtect, por lo que se debió priorizar unos ensayos frente a otros.

En la tablas de resultados de estos ensayos [Tablas 7.3 y 7.4] al PrimeProtect se le ha denominado ZM (de zinc-magnesio, que son los componentes del galvanizado) y al haber dos espesores diferentes hemos distinguido al uno del otro denominando al de mayor espesor como ZM90 y al de menor como ZM70.

ENSAYO	Valor prescrito	HDG de referencia		ZM70		ZM90		EZPH de referencia	
		Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración
Rugosidad KTL	Ra<0,5	0,34	OK	0,35	OK	0,35	OK	0,31	OK
Estructura PC	LW < 5	3	OK	3,4	OK	2,3	OK	3,3	OK
	SW < 25	17,9	OK	20,5	OK	14,3	OK	18,4	OK
Granallado	Sust. - KTL: V≤0,5	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK
Ciclos Térmicos	HF y KTL: ≤1,5	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK

Tabla 7.3: Resultados comparativos de ensayos de PrimeProtect con dos espesores de capa diferentes con respecto a ambos sustratos de referencia, cincado al fuego y electrocincado prefosfatado.

Observamos que en este caso tanto en el ensayo de granallado como en el ensayo de ciclos térmicos el resultado para los cuatro sustratos es el mismo. Esto nos ha resultado bastante extraño ya que, como ya se ha ido comentando a lo largo del trabajo, el electrocincado prefosfatado tiene peores propiedades de adherencia que el cincado al fuego. Por esta razón, se reclamó más material de chapa y se procedió a realizar un ensayo más amplio.

Este nuevo ensayo consta de ensayos tanto de adherencia como de corrosión todos sobre blanco Candy y negro Mythoschwarz. De estos ensayos actualmente tenemos los resultados de granallado sobre ambos colores y de corrosión sobre KTL [Tabla 7.4]. Los ensayos de ciclos térmicos no los tenemos todavía ya que la cámara se está reparando de un fallo y los de corrosión de a paquete completo tampoco se tienen ya que tardan dos meses en salir de cámara y se introdujeron hace un mes y medio.

ENSAYO	Valor prescrito	HDG		ZM70		ZM90		EZPH 75/75		
		Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración	Valor hallado	Valoración	
Rugosidad KTL	Ra<0,5	0,44	OK	0,3	OK	0,31	OK	0,31	OK	
Corrosión KTL	Vc≤2,5	2,5	OK	1	OK	1	OK	2,5	OK	
B 9 A	Estructura	LW < 5	3,7	OK	3,1	OK	3,8	OK	2,8	OK
		SW < 25	17,0	OK	15,8	OK	16,3	OK	13,3	OK
	Grana-llado	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1 sustrato - KTL	NO OK	1,5 sustrato - KTL	NO OK
Y 9 T	Estruc-tura	LW < 5	4,3	OK	3,3	OK	3,5	OK	2,6	OK
		SW < 25	22,9	OK	18,4	OK	14,1	OK	14,6	OK
	Grana-llado	Sust. - KTL: V≤0,5 HF y KTL: ≤1,5	1 Color - HF	OK	0,5 HF- KTL	OK	1 Color - HF	OK	0,5 sustrato - KTL	OK

Tabla 7.4. Resultados comparativos de ensayos de PrimeProtect con dos espesores de capa diferentes con respecto a ambos sustratos de referencia, cincado al fuego y electrocincado prefosfatado sobre blanco Candy y negro Mythoschwarz.

Observando los resultados obtenidos hasta el momento comprobamos que hay una diferencia clara en el comportamiento a adherencia entre el cincado al fuego y el electrocincado prefosfatado, como es de esperar.

Con respecto al PrimProtect observamos que hay una mejora bastante significativa con respecto a ambos materiales de referencia en el comportamiento a corrosión a KTL. Mientras que en la adherencia no se observa ninguna mejora con respecto al cincado al fuego pero si con respecto al electrocincado prefosfatado, en ambos colores.

Tampoco se observa ninguna diferencia entre los diferentes espesores de galvanizado.

Fotos de las chapas ensayadas

- Primeros ensayos:

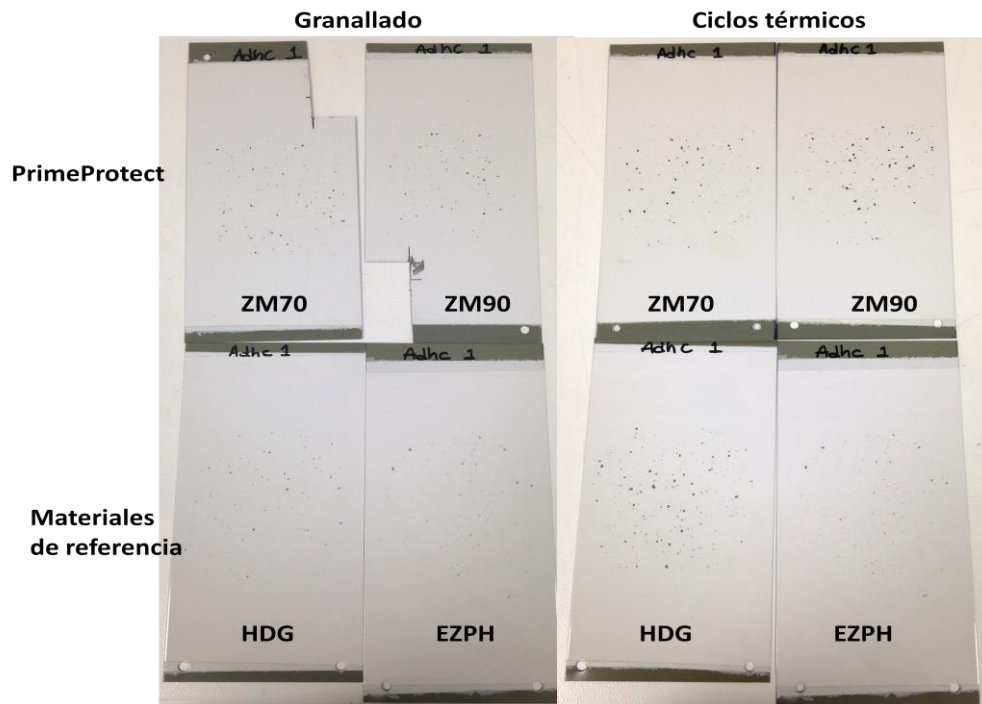


Imagen 7.6: Chapas de PrimeProtect y ambos materiales de referencia tras los ensayos de granallado y ciclos térmicos.

- Segundos ensayos:

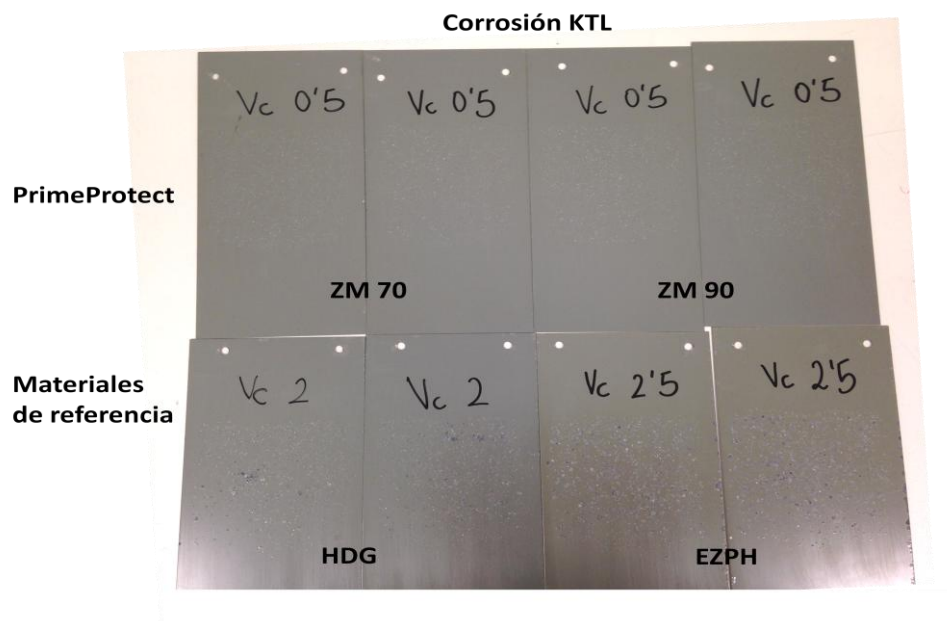


Imagen 7.7: Chapas de PrimeProtect y ambos materiales de referencia tras el ensayo de corrosión a KTL.

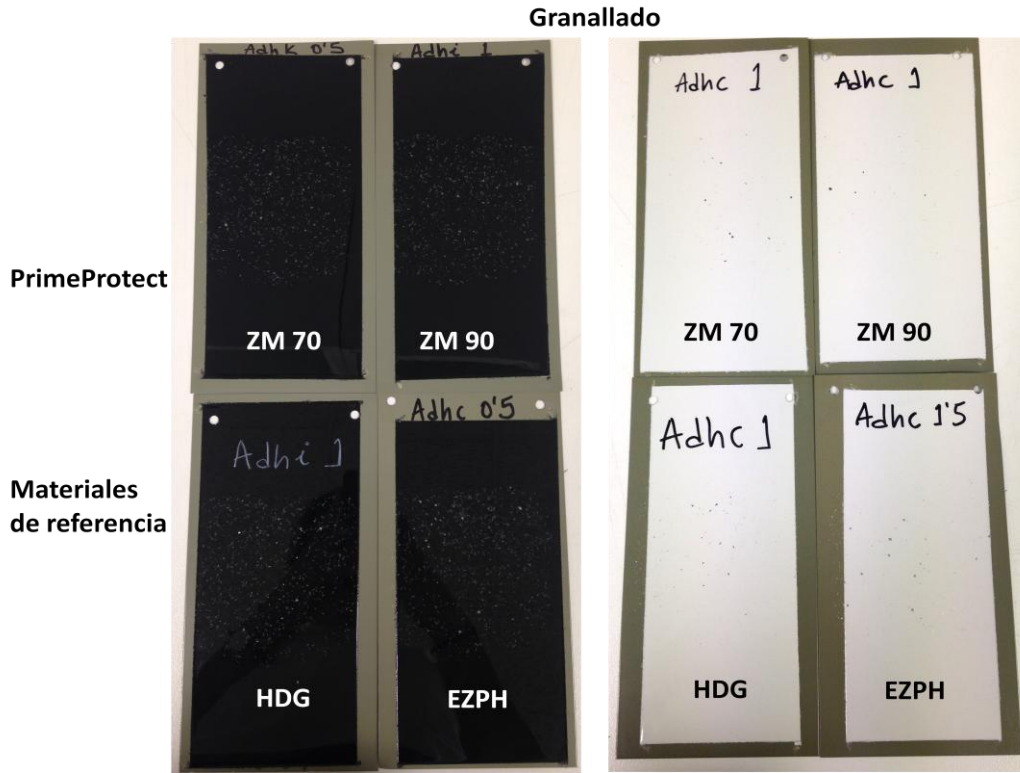


Imagen 7.7: Chapas de PrimeProtect y ambos materiales de referencia tras el ensayo de granallado sobre blanco Candy y negro Mythoschwarz.

8. Coste económico

A continuación se presentará el coste económico de este proyecto teniendo en cuenta el coste del personal, la amortización de los aparatos y el material utilizado Tablas 8.1, 8.2, 8.3 y 8.4.

CHAPAS	Tipo	Unidades
	HDG	28
	EZPH STD.	36
	EZPH bajo n.	16
	NIT	20
	PrimeProtect	
	ZM70	12
	ZM90	12
TOTAL		124 u.
	Precio (€/u.)	2,1
PRECIO TOTAL		260,4 €

Tabla 8.1: Coste económico del material utilizado

Amortización aparatos	Precio (€)	Vida útil (años)	Tiempo utilizado (días)	Precio amortización (€)
Cámara corrosión	53.000	15	60	580,82
Máquina granallado	15.000	13	10	31,61
Cámara ciclos térmicos	9.900	15	15	27,12
Wave Skan II	23.103	7	2	18,08
Medidor espesor	1.973	7	2	1,55
PRECIO TOTAL				659,17 €

Tabla 8.2: Coste económico asociado a la amortización de los aparatos.

El salario del tutor de SEAT se ha extraído del XVIII convenio colectivo de SEAT y el sueldo de la tutora del ETSEIB se ha extraído del XIII convenio colectivo para los centros de educación universitaria e investigación.

	Horas por persona	Sueldo (€/persona·h)	Total por trabajador (€)
Proyectista	300	4	1200
Tutor SEAT	100	17,5	1750
Tutora ETSEIB	20	15,5	310
PRECIO TOTAL			3260 €

Tabla 8.3: Coste económico del personal

Por lo tanto, para obtener el coste total del proyecto debemos sumar los resultados de los costes anteriores. [Tabla 8.4]

Costes	
Material	260,40
Amortización aparatos	659,17
Personal	3260
PRECIO TOTAL	4179.57

Tabla 8.4: Coste del proyecto

9. Impacto medio ambiental

Considero que este punto es más interesante si se enfoca desde el punto de vista del impacto medio ambiental que causaría la implantación del NIT en la producción de SEAT.

Como se ha ido comentando a lo largo del proyecto, este material es el que tiene más visos de ser implantado en el próximo año y esto supondría un beneficio a nivel medioambiental.

Desde el punto de vista de SEAT no, para SEAT únicamente supondría un ahorro ya que se trata de una tecnología más barata y una mejora de calidad. Pero desde el punto de vista del laminador supondría una gran mejora. Esto es debido a que el NIT sustituiría al electrocincado prefosfatado.

Esto significa que el proceso de fosfatación no se realizaría, ya que recuerdo que el NIT se trata de un cincado al fuego con un recubrimiento inorgánico, por lo tanto, no pasa por un periodo de fosfatación antes de ser enviado a SEAT.

Recuerdo que la fosfatación es un proceso que se realiza sobre la superficie galvanizada para mejorar la adherencia de la pintura. Pero los fosfatos de zinc no tienen una buena adherencia por eso es necesario añadir níquel a este baño (cantidad de níquel: 1g/l). De esta manera se forman fosfatos de zinc-níquel (pseudofosfolita). A este baño también se le añade manganeso ya que mejora el efecto del níquel. Por lo tanto, se trata de un proceso tricatió.

Al prescindir de este proceso se eliminan los siguientes residuos:

- Agua con metales pesados, que necesita de un depurado de aguas técnicas (precipitado con hidróxido de sodio)
- Lodos: ya que el baño de fosfatación requiere de un decapado, normalmente se realiza con ácido fosfórico o sosa.

Cabe recordar que el níquel ha pasado a considerarse un material cancerígeno de clase 1, esto significa que si la no se pierden propiedades en el proceso y la tecnología lo permite, debe eliminarse de los procesos como ya ocurrió con el cromo.

10. Conclusiones

Tras el estudio realizado podemos extraer algunas conclusiones, la cuales se expondrán a continuación.

Hemos observado que el material de chapa que presenta peores propiedades desde el punto de vista de pinturas, es el electrocincado prefosfatado de serie. Razón por la cual se están buscando materiales que puedan sustituirlo.

De entre las tres propuestas, la que tiene más visos de ser implantado es el NIT, el cual ya hemos comprobado que tiene un muy buen comportamiento de adherencia bajo cualquier imprimación. Las propiedades a corrosión no se han especificado en este trabajo ya que ya se habían estudiado en un informe previo de SEAT y los resultados habían sido buenos.

También hemos comentado que la implantación del NIT supondría un beneficio medioambiental por el ahorro del proceso de fosfatación de cara al laminado. Y desde el punto de vista de SEAT supondría un ahorro económico importante.

Por todas estas razones, se ha programado una prueba industrial para la semana ocho de este año. En caso de obtener un buen resultado se empezará a implantar en los capós tanto del SEAT Ibiza como del SEAT Leon. Ahorrándose la empresa alrededor de setenta céntimos por capó, que supone un impacto de 240mil euros al año. A este impacto económico hay que sumarle la disminución de oferta de fallo que supone ya que actualmente con el electrocincado prefosfatado hay una oferta de fallo del 20 ‰ mientras que con el NIT se espera una oferta de fallo del 1‰.

Por otro lado, tenemos el electrocincado bajo en nitratos. Este material no supone una mejora en el proceso de pinturas.

Por último nos queda el PrimeProtect. De él hemos podido observar una mejora significativa desde el punto de vista de la corrosión a KTL. Debemos esperar a que salgan de cámara las chapas tanto de ciclos térmicos como de corrosión a paquete completo pero es de esperar que el comportamiento a corrosión a paquete completo sea igualmente bueno. En caso de ser así sería un material con una probabilidad muy alta de ser implantado en un futuro.

11. Agradecimientos

Quiero agradecer al equipo de SEAT Martorell, concretamente al laboratorio Tecnología superficies, por haberme acogido y apoyado en éste proyecto; y en especial a Francisco Martínez y Benito Pedrajas, que me han acompañado a lo largo de toda mi estancia, introduciéndome y enseñándome el funcionamiento de los diferentes procesos, ensayos y maquinaria. Y a Jessica Calvo por aceptar tutorizar éste trabajo.

12. Bibliografía

12.1. Libros:

ANDRÉS, Luis J., «Equipos de simulación y ensayo para la aplicación de recubrimientos orgánicos» (*Pinturas y Acabados Industriales* : 2002), vol.44.

AUDISIO, Sylvain; CAILLET, Marcel; GALERIE, Alain, *Revêtements et Traitements de Surface*, (Presses Polytechniques et Universitaires Romandes : 1999).

FETTIS, Gordon, *Automotive Paints and Coatings*, (Editorial VHC : 1996).

GALLASTEGUI, Álvaro, «Cataforesis, proceso completo» (*Pinturas y Acabados Industriales* : 1997), Vol. 39.

GUISASOLA, Gaizka, «Pintado por cataforesis» (*Pinturas y Acabados Industriales* : 1997), Vol. 39.

KUBASCHEWSKI, Ortrud, *Iron Binary Phase Diagrama* (Editorial Springer-Verlag : 1982).

Libro normativas consorcio Grupo Volkswagen.

LYMAN, T. (ed.), *Metals Handbook: metallography, structures and phase diagrams*, (American Society for Metals : 1994) Vol. 8.

LYMAN, T. (ed.), *Metals Handbook: surface engineering*, (American Society for Metals : 1994) Vol. 5.

CHANG, Raimond, *Principios esenciales de Química General*, (Editorial Mc Graw Hill, Madrid : 2006).

SERRANO, Francisco, *Principios básicos sobre la aplicación de cataforesis*, (Curso de instalaciones de pinturas del departamento de Calidad Pinturas de SEAT Martorell : 2006).

SMITH, William; HASHEMI, Javad; *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, (Editorial Mc Graw Hill, México : 2006).

TEJEDOR, Carlos; «La calidad en los barnices» (*Pinturas y Acabados Industriales* : 2000), Vol. 42.

THORTON, Robert; NEILSON, Robert, *Química Orgánica* (Editorial Pearson, México : 1976).

Tratamientos de superficies en la industria del automóvil. Curso de Henkel Technologies.

WILLEY, John, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Editorial CVH, Weinheim : 1990), vol. A16.

12.2. Webs:

www.galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing

www.autocity.com/documentos-tecnicos/index.html?codigoDoc=454

www.automotive.arcelormittal.com

www.thyssenkrupp.com

Intranet SEAT