

# Corrosion Protection of Materials in Automotive and Industrial Applications: A Review

## Protección anticorrosiva de materiales en aplicaciones Automotrices e Industriales: Revisión

Xavier Arias<sup>1</sup> Abrahan Jorquera<sup>2</sup> Romel Carrera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador  
E-mail: [axarias@espe.edu.ec](mailto:axarias@espe.edu.ec)

<sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
E-mail: [abrahan.jorquera@epn.edu.ec](mailto:abrahan.jorquera@epn.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador  
E-mail: [rdcarrera@espe.edu.ec](mailto:rdcarrera@espe.edu.ec)

### RESUMEN

Se realizó una revisión de varios artículos referentes a la resistencia a la corrosión de las pinturas en todas sus aplicaciones automotrices, ya sea en acero dulce, acero de alta resistencia y materiales galvanizados, se determinó las causas de la corrosión y el uso correcto de los procesos de recubrimiento de anticorrosión en el sector de la automoción. Se adoptó un método que incluye la recopilación y síntesis de información diversa de artículos y estudios publicados, además de la comparación de la información recolectada, los diversos métodos más empleados. El resultado de esta investigación muestra que la corrosión es una amenaza constante para la mayoría de los materiales y por ende para los vehículos, sabiendo que la oxidación es la causa de la degradación del material.

Palabras clave— resistencia a la corrosión; protección galvánica; recubrimientos metálicos orgánicos o en polvo.

### ABSTRACT

A review of various articles concerning the resistance to corrosion of paints in all their automotive applications, whether in mild steel, high strength steel and galvanized materials, was performed, the causes of corrosion and the correct use of anticorrosion coating processes in the automation sector were determined. A method was adopted that includes the collection and synthesis of diverse information from published articles and studies, in addition to the comparison of the information collected, the various methods most commonly used. The result of this research shows that corrosion is a constant threat to most materials and therefore to vehicles, knowing that oxidation is the cause of material degradation.

*Keywords- corrosion resistance; galvanic protection; powder or organic metallic coatings*

## 1. INTRODUCCIÓN

La corrosión es una amenaza constante para la mayoría de los materiales y por lo tanto, para los automóviles. Sin embargo, dado que la corrosión no es la causa del deterioro del material, sino el efecto de su oxidación, y la oxidación sigue siendo una reacción química, la corrosión que sufre un material depende de la velocidad a la que se produce esta reacción a lo largo del tiempo. En este caso, la oxidación en el cuerpo es causada por el contacto del acero con otras sustancias ambientales como el dióxido de azufre y el dióxido de carbono provenientes de la quema de oxígeno, agua o combustibles fósiles en la atmósfera. Como estamos usando acero, necesitamos encontrar una solución a la corrosión, una forma de prevenir esto es evitar el contacto del metal con oxígeno o elementos agresivos, prevenir la oxidación evitando reacciones químicas. La forma más fácil de hacer esto es aplicar una capa como pintura. Sin embargo, las pinturas tienen una porosidad que permiten que el metal entre en contacto con el oxidante.

Una vez iniciado, procederá bajo la pintura y se producirán ampollas. Como se muestra arriba, la oxidación es una reacción química que ocurre a una velocidad específica, y reducir la velocidad de oxidación depende del procedimiento anticorrosivo seleccionado.

La reacción se reduce pasivando la superficie del metal, es decir, haciendo reaccionar el metal con otra sustancia para reducir el número de especies activas formadas en la superficie. La fosfatación se logra mediante el tratamiento con fosfato, el proceso de sumergir o rociar una solución rica en fosfato en el acero. Una mejora sobre el revestimiento protector es el revestimiento catódico aplicado por electrodeposición en la tina donde se sumerge el cuerpo. La inmersión asegura que el recubrimiento llegue a todas las partes y la

galvanoplastia asegura un espesor uniforme. El proceso se completa con el curado del recubrimiento a temperaturas cercanas a los 180°C, obteniendo como resultado una excelente dureza y adherencia. La electroforesis se aplica por inmersión, pero hay zonas a las que no se puede llegar. Estas áreas son las conexiones entre las dos partes y generalmente se realizan mediante soldadura por puntos. Entre las soldaduras por puntos, las superficies internas de las piezas a unir están tan cerca que la electroforesis de densidad relativamente alta no puede penetrar y proteger el acero. Un verdadero avance en la lucha contra la corrosión ha sido el uso de acero galvanizado o sellado. Es el mismo acero comúnmente utilizado en la fabricación de carrocerías, con una fina capa de zinc añadida por ambas caras, o en algunos casos por una cara.

Después de sumergir en un tanque grande de zinc por inmersión en caliente para construir el cuerpo. Este último paso mejora mucho la rigidez de la carrocería, pero no garantiza la galvanización de todas las superficies. La diferencia entre el zinc en modo de protección y otros sistemas mencionados es que el zinc en realidad protege, no previene. El zinc es más activo en la oxidación que el hierro y se caracteriza por la formación de una película de óxido fuertemente unida que retrasa la oxidación. Inevitablemente, si falla el sistema de pintura y catalizador o el sistema de sellado, comienza la oxidación del zinc, pero eventualmente se detiene. La galvanización es un recubrimiento que se aplica a la chapa antes de soldar varias partes de la carrocería, por lo que puede estar seguro de que encontrará un recubrimiento de zinc en cada espacio. En los últimos años, se han realizado investigaciones sobre el aumento significativo del desgaste cuando los vehículos se fabrican principalmente para funcionar en entornos industriales, costeros o cálidos y húmedos. La permeabilidad y elasticidad del recubrimiento, la vía de difusión del oxígeno, la presencia de sales y

la composición química del sustrato son los parámetros de control más importantes. Sin embargo, la fachada revestida de metal es un punto importante. Luego descubrimos que la composición química del sustrato y el tipo de agente de limpieza o el tipo de película de transferencia química aplicada era un aspecto importante de la resistencia a la corrosión. Actualmente, se sabe que los revestimientos poliméricos, como las pinturas, mejoran la adhesión porque la película convierte el agente de rugosidad de la superficie. Entre las diversas películas de transformación química, el fosfato-cromato (CCC) se ha aplicado con éxito durante mucho tiempo a estructuras metálicas para mejorar la resistencia a la corrosión y la adhesión de revestimientos. Los recubrimientos de conversión de cromato se han utilizado ampliamente durante muchos años, pero los recubrimientos de Cr contienen cantidades significativas de carcinógenos. Por otro lado, los recubrimientos tratados con fosfato plantean una serie de problemas, incluido el impacto ambiental negativo (eutrofización), baños de lodo, consideraciones energéticas y longevidad. Los puntos anteriores han creado un impulso para la investigación y el desarrollo de nuevas membranas transformadas químicamente. Estamos trabajando en nuevas soluciones de tratamiento basadas únicamente en zirconio, titanio, vanadio, cerio y molibdeno e incorporando polímeros para facilitar la adhesión. Debido a su excelente resistencia a la corrosión, los recubrimientos de transformación química de zirconio se están investigando activamente como nuevas alternativas a los recubrimientos de transformación química tradicionales. Las aleaciones de aluminio se utilizan en muchas industrias debido a su combinación de excelentes propiedades mecánicas y peso ligero. Sin embargo, se cree que la presencia de moléculas de compuestos Inter metálicos y la composición química del sustrato de aluminio tienen un efecto significativo sobre los óxidos presentes en la capa

superficial y tienen un efecto significativo sobre la resistencia a la corrosión. Las tasas de corrosión se investigaron utilizando revestimientos de acero al carbono A-36 y cámaras de niebla salina con tres recubrimientos orgánicos seleccionados y sus propiedades anticorrosivas. Además, se examinó el efecto del patrón de limpieza inicial antes del recubrimiento. El ensayo se realiza de acuerdo con la norma ASTM B117 que especifica los parámetros necesarios para realizar un ensayo de corrosión acelerada en una sala de niebla salina, así como los controles de laboratorio necesarios para certificar dicho ensayo. Las tasas de corrosión se calculan utilizando ASTM G1 y los recubrimientos se comparan para determinar cuál brinda la mejor protección. Además, el grado de desgaste de la pintura se determina mediante inspección visual según la norma ASTM D610. El análisis realizado determinó el mejor método de resistencia a la corrosión para el acero al carbono A-36. (3). Se basa en el estudio de los cambios de adherencia provocados por diferentes grados de arena abrasiva durante la preparación superficial del sistema de imprimación. Muchas estructuras metálicas no tienen una larga vida útil, especialmente porque se ven afectadas por la corrosión en ambientes salinos y altamente corrosivos. Esto se debe a que el revestimiento aplicado para proteger el metal base se desprende del metal base debido a la falta de fuerza de adhesión. Para mejorar la adhesión entre el material del sustrato anterior y el revestimiento, se realiza una limpieza de la superficie (chorro de arena) en diversas condiciones para producir el perfil de unión óptimo. En este proyecto se utilizaron varias técnicas de arenado y revestimiento y equipos de recopilación de datos. Para obtener los detalles del sistema, se utilizaron como variables independientes la distribución del tamaño de las partículas, el tiempo de contacto y la presión del chorro. Se aplica a la muestra que combina valores mínimos y máximos, y la media se usa para la muestra duplicada. Por lo tanto,

podemos concluir que la mejor manera de limpiar la superficie de las estructuras de acero es el arenado. (4). En el contexto internacional actual, la protección del medio ambiente es uno de los mayores desafíos que enfrenta la industria, incluido el tema de los recubrimientos orgánicos. Por ello, todos los esfuerzos se dirigen hacia la fabricación de productos respetuosos con el medio ambiente. Esto significa que en el proceso de fabricación de la pintura es necesario saber qué componentes son inofensivos y cuáles producen una pintura completamente respetuosa con el medio ambiente. Las imprimaciones y pinturas anticorrosivas convencionales contienen compuestos de plomo o cromo que han demostrado ser pigmentos anticorrosivos eficaces. Sin embargo, debido a su naturaleza altamente tóxica y nociva para el medio ambiente, se han buscado nuevas sustancias con un impacto mínimo en la salud pública y el medio ambiente. También se debe considerar la liberación atmosférica de solventes. Esto no solo contribuye directa e indirectamente al efecto invernadero y la formación de smog fotoquímico, sino que también afecta negativamente a la salud humana. El objetivo de este trabajo es la obtención de pigmentos para la fabricación de materias primas anticorrosivas ambientales. Estas imprimaciones actúan como una capa protectora temporal y también facilitan la posterior adhesión del recubrimiento al soporte. Este último aspecto es más importante para superficies difíciles de pintar como el acero galvanizado. El pigmento producido en este estudio es un fosfato de aluminio libre de zinc que puede reemplazar a los cromatos con un efecto anticorrosivo equivalente o mayor. Los primarios compuestos anticorrosión utilizan solventes que tienen poco impacto ambiental. Son agua y alcohol, eliminando los problemas ocasionados por el uso de hidrocarburos aromáticos, cetonas, etc. (5)

En la figura 1 se muestra el proceso de oxidación

que interviene a causa del oxígeno el cual afecta a la capa de pintura y posteriormente al acero cuando este no tiene protección (cinc) [1]

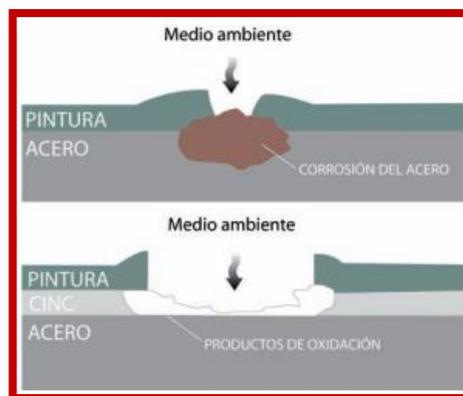


Figura 1: Proceso de oxidación en un material protegido y en un no protegido

## 2. METODOLOGÍA

Todo el contenido presente en este artículo surge de una larga revisión bibliográfica relevante sobre la protección anticorrosiva de pinturas en aplicaciones automotrices con la finalidad de reconocer que es lo que se conoce y se desconoce del tema en general. Se trató en sí de una revisión de tipo descriptiva de la literatura, donde en base a estudios ya realizados se logró determinar los procesos correctos para la protección anticorrosiva de metales y de esta manera redactar un artículo de revisión y se dejó a la vista la constante evolución del tema de estudio. Esta revisión es de gran utilidad e interés en la enseñanza, y campos conexos, que estudian lo relacionado a los factores que influyen en el origen de la oxidación y muchos procesos corrosivos que afectan las propiedades del metal en sí, de esta manera a lo largo de la investigación se encontraron varios procesos para combatir estos fenómenos. También se cumple con la función de sintetizar todos los fragmentos obtenidos de cada artículo investigado al mismo tiempo que tiene la finalidad de transmitir al lector nuevos conocimientos sobre la protección anticorrosiva de pinturas en las aplicaciones automotrices comparando la información

encontrada en diferentes fuentes, conocer también la estrategia utilizada por los anteriores investigadores y perfeccionarla en esta revisión para así hacer un trabajo mas sencillo de entender para el lector.

Luego de la definición del tema y de la elaboración de un plan de trabajo, la búsqueda bibliográfica consistió en obtener publicaciones de artículos científicos durante los últimos años (2017-2022). Se utilizaron los buscadores académicos Scopus, Google Académico, Academia.edu, ScienceResearch.com, Springer Link, así como la visita a diferentes páginas web de revistas especializadas en el área de estudio. La metodología de búsqueda fue interactiva por la interrelación que guardan los aspectos en el molde, y la sistematización de la información resultante originó la búsqueda de nueva información por la necesidad de profundizar en el tema. La información analizada de una o más fuentes fue sometida a un proceso de condensación y destilación, seleccionando las partes más sustanciales de cada trabajo revisado. Finalmente se procedió a preparar un guion para la construcción del artículo de revisión con la finalidad de servir de guía en la redacción, organización y mantener un orden lógico.

*Tabla 1*  
*Tipos de buscadores utilizados para realizar la siguiente revisión.*

| TIPO DE BUSCADOR    | ARCHIVOS INVESTIGADOS | PORCENTAJE |
|---------------------|-----------------------|------------|
| Google académico    | 20                    | 62,5%      |
| Scopus              | 3                     | 9,3%       |
| Academia.edu        | 2                     | 6,2%       |
| Scienceresearch.com | 0                     | 0%         |
| Springer            | 0                     | 0%         |
| Scielo.org          | 7                     | 21,8%      |

### 3.1. Estudio de las ventajas de los nuevos sistemas de protección catódica y anticorrosiva, instalando en buques de guerra

El fenómeno de la corrosión y el aspecto fundamental al que debe aplicarse para obtener un efecto debe ser mínimo porcentual mínimo. La corrosión es el enemigo químico que se presenta en los metales, por lo que se han desarrollado métodos para frenar este fenómeno y evitar el deterioro del material, manteniendo homogeneidad absoluta de material. Se consideran tres características fundamentales:

- Aislamiento eléctrico, aislamiento entre el metal y el electrolito, polarización de las pilas elementales

Además de los métodos enumerados anteriormente, una técnica utilizada es la protección de pintura. Las condiciones que se deben tener en cuenta son las siguientes:

- Resistencia al alcalino, producto reacción de los óxidos metálicos con el agua.
- Baja permeabilidad.
- Carácter dieléctrico.
- Buena adherencia al acero y otros metales.
- Facilidad de aplicación.
- Resistencia mecánica; abrasión, impacto, vibración y flexión en pinturas ordinarias, espesor mínimo de 0,15mm.
- Compatibilidad con pinturas anti-incrustantes.

Generalmente, los recubrimientos con pigmentos de ánodo se utilizan para cambiar la distribución de las áreas de las hélices, las entradas y salidas de agua, etc. Esta es una aplicación no recomendada debido a su baja durabilidad. Sin embargo, se desarrolló un método para proteger el cobre mediante el uso de hierro o zinc y un revestimiento externo de cobre. Los elementos anódicos activos más utilizados son el zinc, el magnesio y el aluminio

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

debido a sus propiedades relacionadas con la equivalencia electroquímica y las pérdidas eléctricas. Sin embargo, su aplicación es costosa porque la forma en que se practican se basa en revestimientos o nichos en corriente.

- **Ánodo de Zinc**

Por otra parte, el ánodo de zinc es más usado en la Armada Española debido a su fácil manejo y más recomendable. No es adecuado para someterlos al agua dulce

- **Ánodo de Aluminio**

Se los instala en cascos de buques, por detalles similares al ánodo de zinc, con la diferencia de su resistencia de protección.

- **Ánodo de Magnesio**

Se caracteriza por su capacidad de energizado, pero su empleo es dificultoso debido a la incompatibilidad con la pintura. [2]

### 3.2. Protección del acero con pinturas con sales de tierras raras como pigmentos anticorrosivos

En general, las partes metálicas en contacto con el exterior están sujetas al clima y a el comportamiento del medio ambiente. Estas pueden variar desde los diferentes lugares, desde el campo hasta el mar. Como es de conocimiento general, los objetos metálicos, en especial en los de hierro, el efecto de corrosión se ve incrementado por la presencia de sales e iones agresivos. En los iones depositados sobre el metal provocan cavidades corrosivas de corta duración. Con el tiempo pasan de la erosión local a la erosión general, dada las siguientes aceleraciones de deterioro en las piezas.

- Criterios éticos
- Criterios estéticos
- Criterios científicos y técnicos

Después de hacer el análisis de puntos en cada parte metálica, el sistema de protección incluye los siguientes pasos:

- Limpiar el objeto mecánicamente para eliminar los productos de corrosión.
- Enjuagar con agua para eliminar los iones de deterioro restantes.
- Utilizar pinturas ecológicas que las protejan o bloqueen de la superficie

La efectividad del recubrimiento anticorrosión depende

del pigmento retardante aplicado. Inhibidores de corrosión más efectivos utilizados en pintura. Los agentes protectores son sustancias que tienen cromatos en su composición. Pero, los compuestos de cromo hexavalente no se aceptan debido a sus propiedades cancerígenas y es difícil eliminarlos del medio ambiente. Los fosfatos, sus principales sustitutos, son la razón de menor impacto en el medio ambiente pero su exceso puede causar otros problemas. En el medio ambiente, como el crecimiento de algas en lagos y arroyos.

En general. Esto conducirá a la eutrofización gradual de las reservas acuíferas. En conclusión, la tendencia actual es eliminar los compuestos de cromo hexavalente y reducir el contenido de fosfatos, especialmente de fosfato de zinc. [3]

### 3.3. Corrosión acelerada en medio salino y adherencia de sistemas de pinturas depositadas sobre acero

Los resultados demuestran la eficacia protectora de los sistemas evaluados, que muestran un comportamiento similar ante ambientes corrosivos, pero las muestras recubiertas con esmalte mate presentan una menor tasa de oxidación superficial, ligeramente superior al esmalte color brillante, con una adherencia satisfactoria en ambos casos. Aumenta la velocidad de corrosión en ambiente salino y la adherencia del sistema de deposición de pintura al acero. [4]

Considerando el acero como un material, es una poderosa herramienta para evaluar la calidad del desempeño en función del perfil característico del sistema de recubrimiento específico que posee y la rápida evolución de los materiales orgánicos.

Sal nebulizada bajo condiciones especificadas de precisión, concentración y temperatura.

**Sistemas de Pinturas.** El diseño utilizado es un esquema factorial fraccionado que evalúa dos sistemas de recubrimiento industrialmente significativos en las mismas condiciones con un número mínimo de muestras, que evalúa el análisis funcional e industrial en sistemas

**Mate.** Se aplica una muestra suficiente del sustrato de pintura y el sistema de pintura se evalúa y se extiende para cubrir toda el área de aplicación.

**Inspección Visual de acuerdo con la Norma.** Detenga visualmente la superficie a inspeccionar con fotografías de las referencias fotográficas que se pueden descubrir para determinar el índice de condición del recubrimiento y el porcentaje de corrosión.

**Las muestras están parcialmente recubiertas.** Debido a el tipo y la concentración de disolventes y aditivos contenidos, dos sistemas orgánicos pueden combinarse con formulaciones específicas y equiparse con protección y protección anticorrosiva activa.



Figura 2: Aplicación de piezas en medio salino.

### 3.4. Influencia del diseño anti corrosivo en la protección anticorrosiva del área de combustibles de una central eléctrica diésel MTU Serie 4000

La Revolución Energética a propiciado un aumento en el número de plantas de generación y distribución de energía, todas sujetas a las condiciones del entorno cubano, primando un mayor mantenimiento, lo que exige la implementación de medidas operativas anticorrosivas.

Además de infringir las normas establecidas en el debido a la falta de exigencia y proceso de control de calidad de diseño, construcción, superficie, pintura y protección.

Los recubrimientos anticorrosivos son parte fundamental de los sistemas utilizados actualmente en el mundo, cuyo principio de funcionamiento es aislar o separar metales del ambiente corrosivo, dependiendo de lo que pueden ser de naturaleza: orgánica, inorgánicos, metálicos, etc. los otros



Figura 3. Proceso anticorrosivo para el área de combustibles

#### Problemas y soluciones

La distancia entre piezas o estructuras no debe ser menor a 50 mm de ancho y mayor a 100 mm de profundidad, este aspecto es de gran importancia y es la causa de la falla del recubrimiento aplicado debido a la preparación de la superficie y sistema de recubrimiento que el gobierno no es suficiente.

la presencia de un problema de acceso entre el hormigón y los bastidores y por el acceso del personal durante la aplicación del sistema de mantenimiento y conservación en el origen de los demás venteos diferenciados, resultando en corrosión electroquímica, atmosférica, heterogénea, galvánica por aireación células. Cuando el espacio es limitado y restringido, no es posible realizar el trabajo anticorrosivo con pintura, quedando el área desprotegida y expuesta a la intemperie.

Los elementos con riesgo de corrosión que no sean accesibles después del montaje deberán estar fabricados con materiales resistentes a la corrosión o provistos de un sistema de revestimiento que proporcione una protección eficaz en el tiempo al servicio de la estructura. En cambio, se debe considerar la resistencia a la corrosión. [5]

### 3.5. Obtención de un pigmento natural para la formulación de pinturas anticorrosivas

Entre los pigmentos que fueron usados para pinturas anticorrosivas tienen la posibilidad de nombrar los óxidos de metales como el hierro, el plomo, el cinc y titanio, o compuestos de como por ejemplo los cromatos, los silicocromatos y los cromatos básicos.

Los pigmentos anticorrosivos a base de minerales de óxidos de hierro (especularita) se plantean como una elección posible para reemplazar a estos pigmentos que poseen efectos contaminantes. No obstante, varios de dichos óxidos de hierro tienen que modificarse para conseguir que tengan excelentes características. Dicho mineral de hierro especular una vez beneficiado va a ser la materia prima para la construcción de la pintura.

El óxido de hierro micáceo ha ganado un uso generalizado en los revestimientos de custodia internacionalmente gracias a sus características anticorrosivas, que se derivan de la naturaleza singular de sus hojuelas semejantes a las partículas.

Una vez que el óxido de hierro micáceo se añade en un recubrimiento en un grado apropiado, las láminas alineadas en paralelo a el área del sustrato, conforman un escudo o barrera de la superposición de las placas, como se muestra en el gráfico anterior.

Ya que las hojuelas son impermeables, una barrera se forma que impide la penetración del agua, el oxígeno y los iones y, por consiguiente, impide la corrosión del acero y la degradación se obstaculiza. De esta forma se forma una capa que actúa como barrera ante la intemperie y previene la embestida de otros recursos climatológicos como por ejemplo niebla salina, anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), sal de amonio u otros residuos que se hallan en el viento. Asimismo, además actúa como barrera ante la humedad y el oxígeno. [6]

### 3.6. Resistencia a la corrosión en ambiente salino de un acero al carbono recubierto con aluminio

### por rociado térmico y pintura poli aspártica

Para crear esta clase de revestimientos de aluminio sobre sustratos de acero se puede hacer por Deposición Física de Vapor, Deposición Asistida por Haz de Iones, Deposición Química de Vapor y rociado térmico, entre otros. La virtud del rociado térmico es que tienen la posibilidad de obtener revestimientos más gruesos, para la defensa contra la corrosión en ambientes salinos o marinos.

El rociado térmico con aluminio salvaguarda al acero contra la corrosión alcalina hasta el más severo grado, en comparación con los recubrimientos orgánicos, da un más grande costo/beneficio por la extensa vida de duración de los recubrimientos rociados térmicamente.

Se fabricaron 20 probetas de un acero de bajo carbono de magnitudes, que fueron sometidas a un proceso de granallado para darle rugosidad a el área de las probetas y tener un óptimo perfil de anclaje para obtener una buena cohesión del rociado térmico y de las pinturas.

Los ensayos de cohesión se han realizado mediante ensayos de pull off bajo la regla ASTM D 4541, con los accesorios Positest integración tester, usando pegajoso 3M alusión AC40, para conocer la adhesión de las pinturas y del rociado térmico. [7]

### 3.7. Pintura electrostática

La pintura electroestática es un recubrimiento en polvo que es una buena alternativa para piezas metálicas, que además permite un ahorro de hasta un 97% al momento de aplicarse, lo cual la hace reciclable. Se trata de una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas de forma sólida, en forma de partículas finas. [8]

La pintura en polvo desde su lanzamiento en la década de los 60, ha tenido un crecimiento constante en el mercado, y es porque ofrece una enorme cantidad de aplicaciones en piezas metálicas. A diferencia de las pinturas tradicionales

líquidas, evita que se formen burbujas en la superficie y escurrimientos ofreciendo un acabado más uniforme.

#### Aplicación

Este recubrimiento se aplica con una pistola electrostática para pintura en polvo, que mezcla aire con las partículas cargándolas eléctricamente y se adhieren a la superficie a ser pintada, que se encuentra aterrizada, y permanecen adheridas a la pieza por carga estática. La pintura electrostática es un recubrimiento en polvo que es una buena alternativa para piezas metálicas. Posteriormente son calentadas en un horno donde, al curarse, dan como resultado un recubrimiento uniforme, de alta calidad, atractivo y durable.



Figura 4. Aplicación de pintura electrostática

#### Beneficios

- Eficiencia de aplicación (Una capa)
- Ausencia de VOC's Permite un reciclaje mayor al 97% de la pintura que no queda aplicada a la pieza, de acuerdo con la eficiencia del sistema de aplicación usado.
- Presenta menor riesgo para la salud de las personas que aplican la pintura, en comparación de los productos que contienen solventes.
- Resistencia físico-química muy superior frente a impactos, rayones, dobleces y agentes químicos.

#### 3.8. Pintura en polvo

El éxito de este recubrimiento radica en sus excepcionales propiedades de acabado como podemos encontrar la dureza, resistencia al desgaste, excelente acabado, facilidad de

aplicación y aceptabilidad ambiental.

Como una de las alternativas más limpias y efectivas, el recubrimiento en polvo es un recubrimiento orgánico que se utiliza para recubrir y proteger todo tipo de materiales metálicos.

#### Ventajas de la Pintura en Polvo

Podemos encontrar muchas ventajas del recubrimiento en polvo sobre la mayoría de los recubrimientos industriales es por ello que hoy en día se ha convertido en un producto altamente competitivo y aceptado en el mercado.



Figura 5. Pinturas en polvo un recubrimiento ecológico y eficiente

- Produce revestimientos que son altamente resistentes a la abrasión, el calor, los golpes, el clima, la abrasión y los cambios extremos de temperatura del medio ambiente.
- Se pueden obtener efectos de alto brillo, semi-brillo, mate, iridiscentes, metálicos e incluso incoloros.
- Puede formularse para aplicar en diferentes espesores, dependiendo del uso de la pieza.
- Es amigable con el medio ambiente, lo cual se reducen los problemas de contaminación ambiental, los costes de disolventes y los riesgos de incendio.

#### Aplicación

Al aplicar pintura en polvo, se deben observar ciertas condiciones óptimas tales como la humedad máxima que debe tener el medio ambiente son de un 65% y la temperatura ambiente no debe de sobrepasar los 35 ° C.

El aire del medio ambiente debe estar libre de aceite, humedad y partículas sólidas lo cual este proceso se debe realizar en una habitación con presión positiva sin entradas de aire y fugas, también las pistolas deben colocarse a una distancia de 20-30 de distancia con la pieza para que se produzca un buen pintado y un mejor acabado. [9]

### 3.9. Nanociencia y nanotecnología: Nociones y aplicaciones

El artículo compone términos como nanocrystalinos, nanomateriales, nanoestructuras, nanocompuestos, nanotecnología, nanociencia, nanotubos, nanopartículas, nanovarillas, nanoresortes. En si el termino nanómetro es parte de 1 billón de unidades del metro. Estos términos se agrupan por nanotecnología y se definen comúnmente como investigación y desarrollo a escala nanométrica. En este artículo nos enfocaremos en los nanomateriales, especialmente en los recubrimientos definimos a los nanomateriales como materiales que deben sus propiedades a estructuras internas nanométricas.

Aplicaciones en nuestra vida cotidiana:

Hoy me gustaría hablar de las invenciones nacidas de la siguiente nanotecnología.

Nanocable de silicio:

Es un material común de los dispositivos electrónicos. En si este material cuenta con extraordinarias propiedades ópticas, electrónicas y magnéticas. Existen usos para las nanopartículas que se remontan a muchos años atrás. Por ejemplo, el uso de nanopartículas de carbono en neumáticos. Goodrich ha introducido el uso de negro de carbón para aumentar la durabilidad de sus neumáticos.

Partículas en el rango de los cientos de nanómetros

Partículas coloidales:

Este tipo de partículas las podemos encontrar presentes en las pinturas de látex, este tipo de pinturas contienen partículas coloidales formadas

por diferentes polímeros como son los acrílicos, vinílicos, etc.

En la actualidad ya poseemos productos derivados de la nanotecnología, de los cuales podemos mencionar los paragolpes en los automóviles , convertidores catalíticos de los autos, herramientas de cortes de metales, cubiertas protectoras las cuales reducen la luz intensa en lentes y autos, y en lo que se enfoca este artículo que es las pinturas protectoras contra corrosión, arañazos y radiación.

En si el uso de nanopartículas en pinturas reduce el peso de la capa aplicada y gracias a eso reduciremos el uso de combustible.

Expectativas de la nanotecnología en la industria automotriz

En la industria automotriz se le puede aplicar en el recubrimiento protector de la carrocería, que además de ser antirayado es de alto brillo. Otra aplicación que tenemos es en el recubrimiento de vidrios que los hacen antirreflejo y reflectante del calor para minimizar el consumo de energía en zonas cálidas y para confort del conductor. [10]

### 3.10. Desarrollos tecnológicos en el pretratamiento químico de piezas de acero laminado para un posterior proceso de pintado en polvo electrostático.

El recubrimiento en polvo está emergiendo en la industria como una tecnología alternativa para reemplazar las pinturas líquidas tradicionales derivadas de las pinturas rupestres. Desde su introducción en la década de 1940, los recubrimientos en polvo han reemplazado a las pinturas líquidas en las industrias debido a su mayor ahorro de energía, alta resistencia al desgaste, cumplimiento de alta eficiencia y protección ambiental.

Los recubrimientos líquidos requieren solventes VOC, mientras que los recubrimientos en polvo son acabados secos que no requieren solventes orgánicos. El componente principal es resina

polimérica

En la industria existen dos tipos principales de recubrimientos en polvo Termoplásticos

Termoplásticos en polvo: Es el primer polvo utilizado en recubrimientos. Cuando se aplica calor, se funde para formar una capa que, al endurecerse, sigue conservando sus propiedades químicas. Están hechos de polímeros de alto peso molecular que ofrecen buena resistencia química y alta tenacidad.

Termoestables

Están hechos de polímeros de bajo peso molecular que no se derriten, pero reaccionan cuando se calientan. mayor peso molecular.

En el caso de recubrimiento en polvo electrostático, la superficie debe tratarse adecuadamente mediante un pretratamiento. Esto es muy importante porque el estado de la superficie antes de pintar es un factor decisivo en la calidad final del acabado. Por este motivo, el pretratamiento debe realizarse correctamente para evitar problemas en las etapas posteriores de la línea de producción.

Pretratamiento de los metales

Para garantizar que la pintura (se adhiera bien a la pieza a pintar, se realiza un tratamiento preliminar de la superficie metálica. Por lo tanto, ningún proceso de recubrimiento en polvo se puede realizar con éxito si la superficie no se trata adecuadamente.

Desengrasado

La eficacia del recubrimiento en polvo dependerá de la eliminación de grasa, aceite, polvo y óxidos de la superficie metálica. Son estas sustancias las que impiden la buena adherencia de la pintura en polvo al sustrato. Estas sustancias deben eliminarse con un agente desengrasante.

Enjuague

El proceso continúa con el aclarado para eliminar con agua los restos de detergente alcalino de las piezas. Ha surgido el uso de agua para el tratamiento de superficies metálicas para evitar la contaminación de la solución desengrasante de

fosfato (utilizada en el proceso de desengrasado posterior). [11]

### 3.11. Pinturas anticorrosivas epoxídicas basadas en zinc esférico/zinc laminar

Como resulta conocido, las partículas de zinc esférico transportan la corriente protectora entre dos partículas adyacentes en forma tangencial; consecuentemente el contacto es limitado. Con el fin de asegurar un denso empaquetamiento y una mínima encapsulación de las partículas, el contenido de zinc en la composición de la imprimación anticorrosiva en términos de película seca debe estar cercano a la CPVC. Sin embargo, el citado elevado nivel porcentual de polvo de zinc en el envase (luego de su incorporación a la formulación base, previo a la aplicación) produce inconvenientes debido a la alta densidad del pigmento. Por ejemplo, sedimentación, inclusive en los casos de imprimaciones bien formuladas y con adecuada incorporación del zinc metálico, lo cual conduce a heterogeneidades en la película aplicada dado que en algunas zonas la relación PVC/CPVC es mayor que la unidad, generando de esta manera una película con pobres propiedades mecánicas y alta porosidad.

Además, cuando una pintura de terminación se aplica en una zona de alta porosidad (los espacios intersticiales están ocupados por gases y vapores), se forman usualmente pequeños "pinholes" (discontinuidades del diámetro de un alfiler) en la película aplicada debido al burbujeo de dichos gases y vapores confinados en los poros de la imprimación, la cual queda por lo tanto expuesta a la acción del medio agresivo

Se emplearon dos tipos de partículas de zinc metálico de diferente forma, uno de ellos esférico y el otro laminar. Ambos pigmentos, que cumplen con los requerimientos de la Norma ASTM D520, presentaron muy bajo nivel de impurezas a los efectos de no disminuir el carácter protector de la película; el contenido de zinc metálico en ambos

casos fue superior al 97% en peso (las impurezas estuvieron constituidas fundamentalmente por óxido de zinc). El zinc esférico seleccionado se elaboró empleando materiales recuperados (escoria de galvanizados, etc.).

Las imprimaciones se aplicaron sobre paneles de acero SAE 1010 de aproximadamente 100x150x1 mm, arenados al grado ASa 2½ (SIS 05 59 00/67) y desengrasados con vapor de tolueno; la rugosidad máxima osciló en 40 µm. El espesor de la única capa del “primer” fue aproximadamente de 75 a 80 µm; la aplicación se realizó con pincel y por inmersión en una solución de una resina acrílica estirenada se sellaron los bordes. [12]

**3.12. Niveles de protección anticorrosiva en atmósfera marina proporcionada por recubrimientos de bajo impacto ambiental.**

Entre las estrategias desarrolladas para proteger estructuras metálicas de la corrosión en el medio en el que serán expuestas se destacan las pinturas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de pinturas anticorrosivas conteniendo sales de tierras raras (STR) como inhibidores de corrosión para proteger el acero de la oxidación. Se propone el uso de silicatos modificados (zeolitas) con iones pasivantes (cerio) como pigmentos anticorrosivos, debido a que el uso de inhibidores tradicionales, como los cromatos y el fosfato de zinc, ha comenzado a restringirse por su impacto negativo en el medio ambiente.

Se formularon pinturas con las zeolitas modificadas que fueron aplicadas sobre paneles de acero SAE 1010 arenados. La capacidad protectora de los recubrimientos fue evaluada observando el grado de corrosión, de acuerdo a la norma ASTM D 610, mediante la exposición en cámara de niebla salina (ASTM B117) de paneles pintados. Los recubrimientos formulados también se evaluaron por espectroscopía de impedancia electroquímica La aplicación del convertidor de óxidos no es

necesaria si se elige un buen recubrimiento anticorrosivo con una pigmentación adecuada, precedido de algún tratamiento superficial conveniente. La pintura aplicada puede resultar transparente si se evita el uso de material pigmentario opacante. Variando la pigmentación se puede tener un acabado que simule el color original de la pieza metálica a proteger. Ensayos preliminares con el recubrimiento elegido se realizan en laboratorio y, luego, sobre pequeñas áreas de las propias piezas.

Los fosfatos sus, principales sustitutos, ocasionan un menor impacto ambiental pero el exceso de los mismos puede traer aparejados otros problemas en el medio ambiente tales como la excesiva proliferación de algas en los lagos y cursos de agua en general. Esto conduciría a un proceso de eutroficación paulatina de las reservas acuíferas. [13]

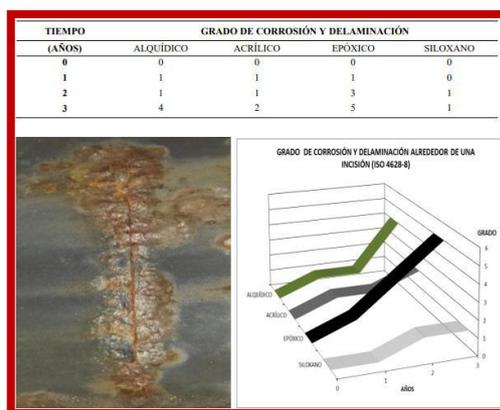


Figura 6. Grado de corrosión y delaminación

**3.13. Recubrimientos de conversión libres de Cr para ser usados en la protección anticorrosiva de acero electro cincado.**

Los compuestos de cromo hexavalente son ampliamente utilizados en acabar y proteger contra la corrosión de las superficies metálicas correspondientes a equipos eléctricos, aviación, procesamiento de alimentos y automoción, donde la chapa acero electrolgalvanizado tratado con recubrimientos de conversión a base de cromato

para darles una buena adherencia al sistema de pintura que luego se aplica a propósito protección y estética.

Los tratamientos de conversión involucran la exposición de una superficie metálica a una solución química con el objetivo de generar una fina capa de un producto de reacción fuertemente adherido. Si este producto es electroquímicamente activo (por ej., cinc, estaño o sus aleaciones) suele ser sometido a pretratamientos químicos especiales, adaptados para cada aplicación individual, con el propósito de hacerlo cumplir las demandas de calidad (color, resistencia al manchado), propiedades de conformado, resistencia a la corrosión, adherencia de la pintura y resistencia de sus películas a la delaminación en bordes.

- Retardar el inicio de la corrosión del cinc
- Dar brillo y pulir química o electroquímicamente las capas de cinc recién depositadas
- Aumentar la adherencia de las películas de pintura aplicadas posteriormente
- Conferir colores a la capa de cinc.

Por su parte, el recubrimiento contiene cromo en los estados de oxidación de  $Cr^{3+}$  y  $Cr^{6+}$ , el primero brindando un efecto barrera aislante y el segundo un efecto de auto sellado. El cromo es relativamente móvil en el recubrimiento y esta propiedad sería responsable del efecto de autosellado cuando la película superficial está dañada, lo que promueve anticorrosión. La capa formada es muy suave y se daña fácilmente antes de secar. Se cree que durante el secado de 24h a temperatura ambiente, la conversión de hidróxido de cromo en óxidos de cromo hidratados. Con el recubrimiento más uniforme, se lograron las tasas de corrosión más bajas. La morfología de las muestras de UF y UY presenta grietas que facilitan la permeación electrolito al sustrato, causando una rápida degradación del recubrimiento. [14]

### 3.14. Influencia del diseño en la protección

### anticorrosiva en condiciones climáticas de Cuba

Las condiciones climáticas son factores que provocan el daño corrosivo en las pinturas, el diseño adecuado es un elemento muy importante y determina la extensión con la elección del material o no es la vida útil de la estructura desde entonces se puede prevenir, retrasar o minimizar muchas formas de corrosión. Para las zonas inaccesibles donde exista riesgo de corrosión, se debe garantizar una protección eficaz durante toda la vida útil de la estructura el uso de materiales resistentes a la corrosión proporciona una protección eficaz, especialmente en áreas agresivas como piezas de acero incrustadas o selladas que presentan riesgo de corrosión o están en contacto con otros materiales de construcción corrosión, aplicación de un sistema de revestimiento protector eficaz y aumento del espesor del materia. [15]

### 3.15. Pinturas epoxi base agua con fosfatos comerciales como pigmentos anticorrosivos.

Los paneles pintados se caracterizaron electroquímicamente por medidas de conductividad para establecer la resistencia iónica delimitando sobre el área pintada en una área circular de 3 cm<sup>2</sup> por medio de un tubo de policloruro de vinilo. En si lo cual se hace es colocar la pieza pintada en una base acuosa de cloruro de sodio después se aplica una carga eléctrica lo cual provoca que este produzca un cambio químico de resistencia iónica lo cual protegerá la pintura de corrosión. La resistencia iónica entre el sustrato de acero pintado y un electrodo de platino ha sido definida por medio de medidas con un conductímetro. Las medidas de conductividad han permitido obtener la resistencia iónica del esquema completo de pintado para tener una iniciativa de la penetración del electrolito por medio de la cinta en funcionalidad del tiempo. Al principio se vio una alta resistencia iónica, lo que

sugiere que la pintura actuó fundamentalmente como un dieléctrico. Después de un definido tiempo, la cinta permitió el paso del electrolito y de dióxigeno por medio de ella, ocasionando una disminución de la Resistencia ionica.

Se estima una buena custodia una vez que la resistencia del recubrimiento supera los  $108\Omega$ .  $Cm^2$  se muestran las curvas de Resistencia ionica en funcionalidad del tiempo. Para cada una de las muestras se observa una caída de Resistencia ionica de un orden de intensidad en los primeros 3 días de ensayo. Después de que los valores de Resistencia ionica cayeran por abajo de  $106\Omega$ .

$Cm^2$ , indicando una baja custodia por impacto barrera, pudieron medirse los valores de resistencia a la polarización. Las medidas de resistencia a la polarización han permitido evaluar la rapidez de corrosión del sustrato pintado. [16]

### **3.16. Protección anticorrosiva de un convertidor de óxido natural aplicado sobre productos de corrosión de un acero AISI 1018**

El recubrimiento primario es ese que es aplicado sobre el área de los aceros, como una primera capa de recubrimiento que posibilita mejorar la adhesión y el sellado de los sistemas protectores. se evaluó el impacto anticorrosivo de un convertidor de óxido obtenido desde un extracto de la planta *Mimosa tenuiflora*, aplicado sobre productos de corrosión de un acero

La sustracción de los elementos de la corteza de *Mimosa tenuiflora* se llevó a cabo por el proceso de maceración dinámica.

Otra propiedad fundamental de los productos de corrosión, que puede influir en la conducta del proceso corrosivo, es la permeabilidad de la capa de óxidos, o sea, su porosidad a especies iónicas

El chorro de arena permitió obtener una área con más rugosidad, gracias a la deformación plástica local que se crea en el metal permitiendo mejorar la conducta mecánico y la adhesión de los productos de corrosión

La preparación superficial por chorro de arena es adecuada para obtener un mejor anclaje de la capa de óxidos y así mismo del convertidor de óxido. El convertidor de óxido obtenido del extracto de *Mimosa tenuiflora* aumenta las propiedades anticorrosivas de la capa de óxido. Sin embargo, el empleo de este convertidor de óxido está limitado solo a atmósferas interiores o con bajo contenido de iones cloruro. La aplicación de este convertidor de óxido natural puede ser utilizada en el ámbito industrial y el patrimonio cultural metálico, únicamente para artefactos de hierro. [17]

### **3.17. De pintar autos a crear Nanoestructuras**

En este artículo se habla sobre un fenómeno conocido como deposición electroforética, que es una nueva forma de generar materiales para piezas de vehículos, conocido desde 1808 cuando el científico ruso Ruesch tiene movimiento de partículas de arcilla en agua inducida por campo eléctrico, pero esto no fue que en 1933 él utilizado en aplicaciones prácticas en una deposición de partículas en un cátodo de platino como emisor para aplicaciones de tubos de electrones.

Desde entonces, la deposición electroforética ha ganado interés en una amplia gama de nuevas aplicaciones en el procesamiento de materiales y recubrimientos avanzados, tanto en el campo automotriz como en el ámbito académico. A medida que el sustrato se sumerge en el líquido, cualquier superficie se recubre completa y uniformemente, independientemente del tamaño y la forma.

Otra ventaja es que, al manipular el voltaje o la corriente aplicados, se puede lograr un espesor de recubrimiento predecible y constante, para tanto internamente como en las piezas.

Así, debido a la posibilidad de obtener recubrimientos de espesor controlable y geometría no plana, surgió el interés en los usos potenciales de EPD en el procesamiento de materiales avanzados para diferentes propósitos tecnológicos,

principalmente en nano estructuras.

Un sistema para preparar películas EPD tiene cuatro: contraelectrodo, sustrato o electrodo de trabajo, suspensión coloidal, fuente de alimentación. El campo obliga a las partículas a moverse hacia cargas opuestas, lo que hace que las partículas se acumulen en el trabajo o sustrato, creando una película relativamente homogénea.

El interés en EPD aumentó cuando se descubrió que las nano partículas suspendidas podían manipularse para la producción de recubrimientos nano estructurados avanzados con propiedades mejoradas. Lo más interesante es que, aunque los sustratos son conductores, las partículas no lo son, por lo que esto se ha utilizado con gran éxito para la cerámica. Por ejemplo, se han depositado películas de óxido para electrodos de baterías de litio, Recubrimientos complejos Zn-Cr-Si para resistencia a la corrosión, materiales cerámicos superconductores, Compuestos Zr-grafito-almidón-NiO para electrodos en baterías de estado sólido, entre otras aplicaciones de alta tecnología. Los parámetros de deposición varían como descrito anteriormente, pero se utilizan con frecuencia voltajes entre 10 y 300 V y de 5 a 300, además de que es posible depositar películas de forma no plana. superficies. Compuestos Zr-grafito-almidón-NiO para electrodos en baterías de estado sólido, entre otras aplicaciones de alta tecnología. [18]

### 3.18. Novedades en aparejos para el pintado de autos

En el mercado de las pinturas automotrices existe una amplia gama de pinturas de fondo como las masillas, imprimaciones y los aparejos. Estos últimos tienen una triple misión: homogenizar las superficies, aislar los productos y garantizar la adherencia. Existen distintos aparejos para cada una de las reparaciones que se vayan a realizar. Los hay con mayor o menor capacidad de relleno; los hay lijables o no lijables; de bajo, medio o alto contenido en sólidos; aislantes, selladores de color

o en escala de grises; de secado rápido, etcétera

#### Aparejos multifuncionales

Los aparejos multifuncionales o polifuncionales son respetuosos con el medio ambiente, porque en su constitución son libres de cromatos y cumplen con la normativa sobre emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC), con lo cual se pueden aplicar sobre todos los sustratos existentes en el automóvil. Este tipo de aparejos se concibe con el fin de optimizar los procesos de trabajo, porque combinan productos y se reducen catalizadores y diluyentes, entre otros, y, de esta manera, se aligera de productos el almacén.

#### Versatilidad

La principal característica de estos aparejos es su versatilidad, ya que se pueden emplear para realizar diferentes procesos de trabajo y ser aplicados sobre diferentes sustratos. Esto lleva directamente asociada otra ventaja, que es la de mejorar los procesos productivos en los trabajos de preparación y pintado, y por lo tanto optimizar los tiempos y materiales que se encuentran en los procesos.

#### Aplicación

Su principal uso se da sobre piezas nuevas con el recubrimiento de cataforesis, ya que estos aparejos ofrecen adhesión directa sobre esta base anticorrosiva, sin previo lijado de la misma. Sobre las piezas de origen con pintura cataforética, se puede aplicar el aparejo multiuso tras la limpieza y desengrasado previo. Además, se puede aplicar sobre pinturas viejas endurecidas, masillas de poliéster, acabados termoplásticos y sobre todo tipo de aceros, zincados, galvanizados, aluminios, etc., pero cuando las superficies no están tratadas, es preciso limpiar y desengrasar las superficies y aplicar una imprimación fosfatante, del tipo wash primer. Ahora bien, si durante el proceso aparecen rayones o se desprende el recubrimiento cataforético no se hace necesaria la imprimación fosfatante ya que estos aparejos multifuncionales ofrecen la protección anticorrosiva necesaria. [19]

### 3.19. Influencia del recubrimiento de cromato de zinc en la corrosión de los aceros ASTM A-500 y A-500 galvanizado expuestos en una cámara de niebla salina

Este estudio tiene como objetivo identificar el efecto de los recubrimientos de zinc cromado sobre la corrosión de los aceros galvanizados ASTM A-500 y A-500 utilizados en la fabricación de carrocerías de vehículos de transporte público. Los resultados muestran el número de muestras y el análisis comparativo después de la exposición de CNS. [20]

**Preparación del material.** El material utilizado fue un tubo de acero al carbono ASTM A-500 sin cordón obtenido por soldadura en frío, que se utilizó para la fabricación del cuerpo.

Se aplicó un recubrimiento de cromato de zinc a ocho muestras de acero A-500 y galvanizado, cuatro se limpiaron con SSPC-SP-3 y las otras cuatro se limpiaron con SSPC-SP-5.

**Limpieza Superficial.** Se seleccionaron dos métodos para la limpieza de superficies. El primer método es la limpieza mecánica según la norma SSPC-SP-3, que utiliza papel de lija para eliminar la capa de óxido.

El segundo método de limpieza de superficies considerado es el estándar SSPC-SP-5, que consiste en aplicar un líquido a presión para eliminar todas las partículas de la superficie del material.

**Recubrimiento** El recubrimiento se diluyó con diluyente en una proporción de 4: 1 para aplicación con soplete. Según el fabricante, el espesor de la capa es de 25-38  $\mu\text{m}$ , se aplican dos capas, con un tiempo de secado de 4 horas a 20°C entre ellas. El espesor del revestimiento se midió utilizando el medidor de espesor de revestimiento.

**Ensayo en CNS.** Para recubrimientos de zinc cromado, el tiempo promedio para esta prueba se estima en 250 horas. Dentro del CNS, establecemos diferentes tiempos de exposición de 200, 250 y 350 horas para determinar cómo estos tiempos de exposición afectan la corrosión del acero.

### Evaluación Visual

Se tienen en cuenta las normas ASTM D-610 y ASTM D-71 para identificar y determinar correctamente los resultados de recubrimiento de superficies corroídas y defectuosas.

### Evaluación Visual

Se tienen en cuenta las normas ASTM D-610 y ASTM D-71 para identificar y determinar correctamente los resultados de recubrimiento de superficies corroídas y defectuosas.

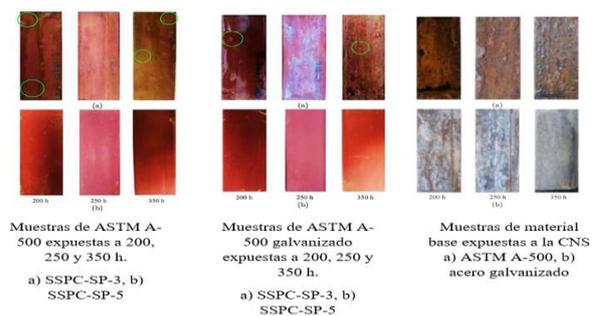


Figura 7. Muestras ASTM A-500 y A-500 galvanizado

El recubrimiento de zinc cromado se adhiere a ambos materiales por igual y brinda una protección contra la corrosión de 7.7x y 8.2x para A-500 y acero galvanizado sin recubrimiento, respectivamente.

### 3.20. Evaluación de un recubrimiento anticorrosivo a base de poliestireno expandido reciclado

Los tiempos de secado, viscosidades, porcentajes de adherencia y de sólidos de las formulaciones obtenidas cumplieron la norma INEN NTE 1045. La formulación apropiada encontrada es utilizando 80 g de poliestireno expandido reciclado, 200 mL de D-Limoneno, 13,5 g de óxido de zinc, 8,7 g de óxido de titanio, 5 g de carbonato de calcio y 2,00 % de octoato de cobalto. Esta formulación consiguió mayor resistencia a la corrosión, con mejor rendimiento a la formulación comercial. [21]

Las probetas de tol negro, acero al carbono y acero inoxidable 304L mostraron velocidades de corrosión promedio, en milésimas de pulgada por

año, de 0,859; 0,259; 0,064 respectivamente, siendo en el caso del acero inoxidable donde las mpy de los diferentes recubrimientos presentaron menos variación; en el caso de acero al carbono hubo mayor diferencia entre la efectividad de las formulaciones estudiadas con respecto al recubrimiento comercial.

La comparación de las superficies estudiadas con las formulaciones se realizó siguiendo la norma ASTM D610 “Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces” a través de inspección visual de la superficie por debajo de los recubrimientos. Se determinó que la segunda formulación presentó un comportamiento mejor para el control de la corrosión, con formación de óxido puntual en pequeñas áreas localizadas; mientras que en la lámina tratada con recubrimiento comercial se presentó oxidación dispersa visible como pequeñas partículas distribuidas a lo largo de la superficie.

La formulación con mejores resultados se describe la siguiente tabla:

Tabla 2. Formulación para recubrimiento a base de poliestireno expandido reciclado.

| Componente    | Sustancia                        | Cantidad | Unidad |
|---------------|----------------------------------|----------|--------|
| Resina        | Poliestireno expandido reciclado | 80       | g      |
| Anticorrosivo | ZnO                              | 13.50    | g      |
| Solvente      | Limoneno                         | 200      | mL     |
| Pigmento      | TiO2                             | 8.70     | g      |
| Cargas        | CaCO3                            | 5        | g      |

### 3.21. Hematita especular como pigmento natural en pinturas industriales

En este estudio se muestra un análisis químico por volumetría realizado al material flotado mostró que se logró un enriquecimiento en el porcentaje de hierro presente en el mineral, lo cual favoreció el uso de la flotación espumante como método de beneficio en estos materiales e implementarlo en el uso como pigmentos anticorrosivos naturales. [22]

Los resultados mostrados por MEB corroboran que entre las especies presentes en la composición de la especularita beneficiada, no hay disponible ningún tipo de

silicato, mostrando de esta manera la efectividad de esta técnica para la concentración de estas materias primas.

A partir del proceso al que fue sometido el mineral y la caracterización realizada, se determinó que empleando este mineral concentrado se puede fabricar pintura anticorrosiva de gran calidad y un desempeño favorable en ambientes corrosivos.

En la tabla 3 se observa que el contenido de hematita especular aumenta, es decir que el mineral fue beneficiado de una forma satisfactoria.

Tabla 3. Resultados de marcha química realizada al material flotado.

| % HIERRO | % HEMATITA ( Fe2O3) |
|----------|---------------------|
| 69.23 %  | 98.9 %              |

### 3.22 Pinturas basadas en resina epoxi alifática curada con alcoxisilanos

Se estima que la formación de película de las composiciones híbridas involucra la reacción de adición de los grupos funcionales oxirano, es decir los óxidos de etileno dispuestos en los extremos de la cadena lineal de la resina epoxídica ali-fática, con los hidrógeno reactivos del aminosilano empleado como agente de curado de la resina epoxi alifática y las reacciones de hidrólisis y condensación de los alcoxisilanos empleados como co-ligantes de la citada resina epoxi alifática y de la parte alcoxisilano del propio agente de curado. [23]

Se forma así un polímero totalmente reticulado de resina epoxi-polisiloxano, es decir una verdadera estructura híbrida ya que los componentes orgánico e inorgánico de la pintura se encuentran mutuamente vinculados a través de enlaces químicos (estructura no Inter penetrante).

Los resultados indican que con la pigmentación (dióxido de titanio rutilo como pigmento opaco, un polisilicato de estroncio y zinc como pigmento inhibidor y silicato de calcio sintético y barita como extendedores) y con la PVC (igual o ligeramente inferior a la CPVC) consideradas, en función de la diferente composición del material híbrido formador de película (relación resina epoxi alifática/alcóxido), se dispone de un amplio espectro de valores de permeabilidad conducentes

a permitir la selección de aquél que se correlacione con una adecuada resistencia a la formación de ampollas y aceptable grado de corrosión.

Se infiere que las pinturas híbridas epoxi álifática/alcóxido presentan muy buena capacidad anticorrosiva ya que son capaces de formar uniones covalentes con el metal; los grupos silanol ( $=\text{Si-OH}$ ), provenientes de la reacción de hidrólisis de la unión  $=\text{Si-O-C}_n\text{H}_{2n+2}$ , reaccionan con los óxidos y/o hidróxidos presentes en la superficie del metal formando uniones covalentes del tipo  $=\text{Si-O-Metal}$ . El alcóxido más reactivo, el te-traetoxisilano (4 grupos etoxi), presentó la mejor performance, seguido del metil-trietoxisilano (3 grupos etoxi) and finally, el dimetildietoxisilano (2 grupos etoxi). El nivel creciente de polisiloxano en el ligante (menor relación resina epoxi ali-fática/siloxano) condujo a un incremento de la resistencia a la intemperie; desde este punto de vista, la pintura híbrida orgánico-inorgánica más conveniente debe ser seleccionada según los requisitos de retención de color y brillo.

### **3.23 Pinturas alquídicas con mordenita intercambiada con La (III) y Pr (III) como pigmento anticorrosivo para la protección de acero SAE 1010**

Se pudo incorporar iones lantano y praseodimio (cationes pasivantes) a la estructura de la mordenita y los sólidos obtenidos incorporarlos a una pintura alquídica anticorrosiva. [24]

Según los resultados de los ensayos electroquímicos, el mejor comportamiento anticorrosivo se logró con el "molibdofosfato" de zinc.

La pintura PrMOR tuvo un comportamiento intermedio seguido por la pintura La-MOR y por lo tanto podrían ser empleadas en ambientes menos exigentes teniendo en cuenta que con estos nuevos pigmentos que no contienen fosfatos, se evitan los efectos de la eutrofización de los ecosistemas acuáticos.

### **3.24 Una revisión de los recientes desarrollos en sistemas de recubrimiento para el de acero**

#### **galvanizado por inmersión en caliente**

Los sistemas de revestimiento novedosos y de alta eficiencia resistentes a la corrosión para HDGS (acero galvanizado por inmersión en caliente) son muy significativos por sus amplias aplicaciones en cosas como las piezas de las líneas aéreas ferroviarias de alta velocidad. Son importantes, por ejemplo, para el control del proceso de galvanización, los revestimientos de pintura y la protección electroquímica; garantizan que el campo global de los HDGS se encuentre en una posición de liderazgo mediante la aplicación de diversos sistemas de revestimiento por su superior resistencia a la corrosión. Por el momento, los nuevos sistemas de recubrimiento todavía necesitan adquirir recubrimientos de resistencia a la corrosión con una mejor propiedad de adhesión a los sustratos sobre la base de los tipos de HDGS, y necesitan mejorar la resistencia a la corrosión con el fin de prolongar la vida útil de los dispositivos o cumplir con las aplicaciones de los HDGS en entornos naturales más severos. [25]

Los futuros desarrollos de los sistemas de recubrimiento para HDGS (acero galvanizado por inmersión en caliente) podrían afectar a una serie de campos. En primer lugar, las modificaciones de los sistemas de recubrimiento actuales se afectarían, por ejemplo, a través de la modificación estructural de las películas de silano y la composición optimización de la composición de las capas de conversión de tierras raras. También se afectaría el descubrimiento de nuevos sistemas de recubrimiento. Para hacer frente al empeoramiento del medio ambiente, deberían ser necesarios nuevos sistemas de revestimiento con de la resistencia a la corrosión deberían ser necesarios para las aplicaciones futuras del HDGS. En tercer lugar, la investigación metodológica para la evaluación de estos sistemas de revestimiento mencionados estaría influenciado por cualquier desarrollo de los sistemas de recubrimiento para HDGS.

Debido a la falta de métodos unificados de evaluación de la vida útil de estos sistemas de revestimiento compuesto, es conveniente establecer criterios razonables de criterios de evaluación de la vida útil.

### 3.25 Una revisión de los enfoques recientes en el campo de la inmersión en caliente de zinc proceso de galvanización

El papel de la composición del sustrato, del baño y de los parámetros del proceso, incluidas las condiciones de recocido, determinan de forma significativa las características estructurales y la aplicabilidad de los recubrimientos. Dado que el proceso de inmersión en caliente es una reacción de aleación, las condiciones del proceso amplían/suprimen/retrasan significativamente la reacción deseada. Por lo tanto, los parámetros de todo el proceso, incluyendo el pretratamiento, la inmersión y el curado/restauración, desempeñan un papel más importante que el papel de los materiales de revestimiento. Un papel más importante que el de la composición del baño u otras soluciones que intervienen en el proceso. La importancia de la presencia de una cantidad óptima de silicio y fósforo en el sustrato de acero ha resultado ser crucial durante el proceso de inmersión en caliente. Además de la composición del baño, el pretratamiento y las condiciones de inmersión alteran en gran medida el revestimiento resultante. [26]

El ajuste de los intermetálicos y de las interdentrices multifásicas puede cumplir con la formación de las características deseadas de los recubrimientos por inmersión en caliente. El control de otras reacciones fisicoquímicas in situ, como el control de la segregación, la oxidación selectiva de los elementos supresión de las reacciones intermetálicas selectivas se consideran cruciales durante el proceso de proceso de inmersión en caliente.

### 3.26 Mejora de la adherencia de los recubrimientos en polvo sobre el acero galvanizado mediante la adición de partículas de sílice organomodificadas

Los resultados definen que la incorporación de OSP (partículas de sílice organo-modificadas) en los sistemas formulados puede mejorar su comportamiento ante la corrosión, sugiriendo que esta mejora alcanza un valor óptimo en torno al 2,5% en peso del aditivo. Esta mejora puede estar relacionada con la sustitución de la barita por el aditivo orgánico modificado de sílice modificadas

orgánicamente, lo que podría aumentar el empaquetamiento del recubrimiento de la capa, lo que daría lugar a una red más cohesiva y a una mejora de las propiedades generales de la pintura (como puede verse en los parámetros electroquímicos parámetros relacionados con el recubrimiento y con la interfase). Además, a segundo mecanismo que podría explicar un mejor rendimiento de los sistemas es la mejora de la adherencia debida a la reacción del residual grupos hidroxilos no reaccionados del OSP con los grupos hidroxilos grupos de la superficie del metal. [27]

Se ha estudiado el uso de partículas de sílice organomodificadas con silanos (OSP) como promotor de la adhesión en un recubrimiento de polvo de poliéster.

Los resultados muestran que la incorporación de OSP conduce a una mejora en las propiedades de adhesión de los recubrimientos, así como en protección contra la corrosión, hasta el 2,5 % en peso. Las concentraciones superiores a 2,5 wt% conllevan la formación de agregados, como se observa en las imágenes de SEM, lo que conlleva una disminución de las prestaciones mecánicas y electroquímicas

### 3.27 Mejora de las propiedades anticorrosivas en los sistemas dúplex de recubrimiento en polvo sistemas mediante mediante el uso del pigmento anticorrosivo ZMP.

Se aplicó una formulación de recubrimiento en polvo con diferentes contenidos de ZMP (zinc, fosfato de molibdeno) (0, 1, 2,5, 10 y 15%) sobre acero galvanizado. Las propiedades anticorrosivas se estudiaron mediante métodos electroquímicos (EIS y ACET). Los diferentes resultados mostraron que, para este tipo de recubrimiento en polvo, las propiedades anticorrosivas mejoraban cuando se añadía un 10 o un 15% de ZMP (según la prueba aplicada) [28]

debido a la mejora de las propiedades de barrera y a la acción inhibidora del pigmento. Las diferencias entre los resultados de EIS y ACET pueden estar posiblemente relacionadas con la disolución del pigmento en los recubrimientos, que depende en gran medida del tiempo de inmersión en el electrolito (el ensayo ACET presenta un tiempo de inmersión limitado en comparación con el

procedimiento EIS). No obstante, no hay variación en las propiedades anticorrosivas

entre las muestras con un 10% de ZMP y un 15% de ZMP en el ensayo de niebla salina.

### **3.28 Efectos del tratamiento térmico sobre la evolución de la microestructura y el comportamiento a la corrosión de los revestimientos de zinc con recubrimiento mecánico**

Se han estudiado los efectos del tratamiento térmico de los recubrimientos de Zn aplicados mecánicamente en elementos de fijación de acero. El tratamiento térmico dio lugar a la formación de una capa interfacial multifásica entre el sustrato y el recubrimiento. La capa interfacial era rica en Fe-Zn y el recubrimiento exterior era rico en Zn. [29]

El espesor de la capa intermetálica de Fe-Zn aumentó con el incremento de la duración del tratamiento térmico de 15 a 30 min. La XRD confirmó la presencia de fases  $\zeta$ -FeZn<sub>13</sub>,  $\phi$ -Fe<sub>13</sub>Zn<sub>126</sub>,  $\phi$ -FeZn<sub>7</sub>

Los átomos de Fe y Zn se difundían en direcciones opuestas, pero el Zn parecía ser la principal especie difusora hacia el sustrato para formar la capa intermetálica.

Los resultados de la prueba de polarización potenciodinámica indicaron que los recubrimientos de Zn tratados térmicamente tenían una menor densidad de corriente crítica antes del inicio de la pasivación, mostrando una mejor resistencia a la corrosión en comparación con la de los recubrimientos de Zn sin tratamiento térmico.

### **3.29 Fragilización del acero galvanizado en caliente: Una revisión**

Los aceros estructurales de baja aleación se utilizan ampliamente en diversas industrias para un amplio número de aplicaciones de ingeniería. [30]

Aunque estos aceros tienen buenas propiedades mecánicas, son susceptibles a la corrosión en presencia de un entorno acuoso. Los recubrimientos de zinc y de aleaciones de zinc han protegido con éxito estos aceros contra la corrosión a lo largo de los años.

El método más económico para recubrir el acero

con aleación de zinc es el proceso de galvanización en caliente. Sin embargo, los aceros galvanizados sufren fallos por fragilidad. El fallo puede producirse durante o después del proceso de galvanización.

También puede producirse durante el servicio. El fallo del acero galvanizado se atribuye a muchas variables como la composición del acero, el proceso de pretratamiento (antes de la galvanización), la composición del baño de galvanización, los parámetros del proceso de galvanización

el proceso de fabricación utilizado y las condiciones de servicio del componente. El fallo de un componente galvanizado puede producirse por mecanismos como el agrietamiento por distorsión, la fragilidad por deformación, la fragilidad por hidrógeno y la fragilidad por metal líquido. y la fragilidad del metal líquido. Durante el servicio, el fallo puede producirse por mecanismos como el agrietamiento por corrosión bajo tensión y el agrietamiento por fatiga, además de los mecanismos anteriores. La vida útil y el historial del componente deben ser comprendidos a fondo para interpretar el mecanismo de fallo de los aceros galvanizados

### **3.30 Mejora de la resistencia a la corrosión de las interfaces adhesivo/acero galvanizado mediante la deposición de películas finas nanocristalinas de ZnO y la adhesión molecular películas promotoras**

El objetivo principal de este estudio era investigar la influencia de diferentes interfaces en la adhesión de las uniones de epoxi y acero galvanizado y un conocimiento más profundo de las causas subyacentes y fundamentales.

Debido a sus prometedoras propiedades, los NC ZnO se depositaron como capas homogéneas sobre superficies de aleaciones de zinc. Además, se consideraron las modificaciones moleculares superficiales de estas películas de NC ZnO con  $\gamma$ -APS y APPA. El análisis FE-SEM confirmó el éxito de la deposición de la película de ZnO NC, mientras que el XPS y el FT-IRRAS demostraron la adsorción molecular de los promotores de adhesión. [31]

El efecto de las modificaciones superficiales se examinó mediante voltamperometría de barrido lineal y pruebas de despegue de las películas de

epoxi-amina en condiciones de humedad. La interfaz NC ZnO mejoró las interacciones en las interfaces epoxi/óxido principalmente por un aumento de la superficie y el enclavamiento mecánico en comparación con la aleación alcalina. Ambos promotores de la adhesión molecular condujeron a la mejora de la resistencia a la corrosión de la superficie del óxido.

#### 4. DISCUSIÓN

En base a los procesos estudiados sobre la protección a la corrosión por la aplicación de pinturas y tratamientos automotrices se logra determinar y llegar a los siguientes resultados de estudio en base a 30 artículos científicos.

La corrosión es un fenómeno polifacético que afecta negativamente y provoca el deterioro de los metales mediante la oxidación. A la corrosión de los metales se le atribuyen pérdidas millonarias en toda la industria metalúrgica.

Cuando dos metales con potenciales diferentes se acoplan y están contenidos en un electrolito conductor, fluye la corriente y comienza la corrosión. La corriente fluiría desde el metal con mayor potencial negativo a través del electrolito hasta un metal que sea más positivo. La corrosión se producirá en el punto en el que la corriente abandona la superficie del metal.

La corrosión del acero es una reacción electroquímica que requiere la presencia de agua (H<sub>2</sub>O), oxígeno (O<sub>2</sub>) e iones como los iones de cloruro (Cl<sup>-</sup>), todos los cuales existen en la atmósfera. Los iones de cloruro atmosféricos son los más abundantes cerca de la costa. Esta reacción electroquímica se inicia cuando el oxígeno atmosférico oxida el hierro en presencia de agua.

Además, la atmósfera también arrastra emisiones procedentes de la actividad humana, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) y muchas otras sustancias químicas, que también pueden ser importantes en el proceso de corrosión.

Además, si dos metales distintos están en contacto, el metal más reactivo se corroerá con preferencia al menos reactivo.

Hay tres métodos que pueden utilizarse para proteger el acero de la corrosión

##### 4.1. Protección de barrera pasiva

La protección de barrera pasiva funciona recubriendo el acero con un sistema de revestimiento protector que forma una barrera hermética para evitar la exposición al oxígeno, el agua y la sal (iones). Cuanto menor sea la permeabilidad del sistema de revestimiento al agua, mejor será la protección proporcionada. Los revestimientos epoxídicos de dos capas y los cauchos clorados aplicados con una capa suficientemente alta son los que mejor protegen contra la corrosión mediante la protección de barrera pasiva.

##### 4.2. Protección activa

La protección activa contra la corrosión se produce cuando se aplica directamente sobre el acero una imprimación que contiene un compuesto químico reactivo. El compuesto reactivo interrumpe de alguna manera la formación normal de ánodos en la superficie del acero. Por ejemplo, los pigmentos inorgánicos inhibidores del zinc, como el fosfato de zinc, ofrecen una protección anticorrosiva activa al sustrato de acero (el fosfato de zinc (Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) es sólo ligeramente soluble en agua). Se hidroliza en el agua para producir iones de zinc (Zn<sup>2+</sup>) e iones de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Los iones de fosfato actúan como inhibidores anódicos fosfatando el acero y volviéndolo pasivo. Los iones de zinc actúan como inhibidores catódicos.

##### 4.3. Protección de sacrificio (protección catódica o galvánica)

La mencionada reacción entre metales distintos puede utilizarse para proteger el acero contra la corrosión. El metal más utilizado para la protección del acero es el zinc. El zinc metálico en contacto directo con el sustrato de acero ofrece protección a través de la oxidación preferente del zinc metálico. El zinc es una gran elección para proteger el acero, ya que no sólo se corroe con preferencia al acero, sino que la velocidad de corrosión es generalmente más lenta. Sin embargo, este ritmo se acelera en presencia de iones como los cloruros en lugares costeros.

### 4.3.1 Recubrimiento electrolítico (E-coat)

La deposición electroforética es un proceso en el que se depositan partículas cargadas eléctricamente a partir de una suspensión de agua para recubrir una pieza conductora. El proceso se conoce más comúnmente como electrocoating o E-coating. La idea de descargar eléctricamente polímeros para recubrir un objeto se planteó por primera vez en la década de 1930. La mayor parte de la investigación básica se llevó a cabo en Europa en la década de 1960. Las empresas norteamericanas empezaron a aplicar el revestimiento electrolítico a finales de los años sesenta, y el proceso se ha utilizado ampliamente para revestir piezas metálicas que van desde simples estampados hasta complejas carrocerías de automóviles.

El proceso requiere un tanque de recubrimiento en el que sumergir la pieza, así como equipos de control de temperatura, filtrado y circulación. Los sistemas de recubrimiento electrolítico se conocen como anódicos o catódicos, dependiendo de si la pieza es el ánodo o el cátodo en el proceso electroquímico. Los sistemas catódicos son más comunes, ya que requieren una menor preparación de la superficie y proporcionan una mayor resistencia a la corrosión. El recubrimiento electrolítico requiere que el aglutinante del recubrimiento, el pigmento y los aditivos reciban una carga eléctrica. Estos materiales cargados, bajo la influencia de un campo eléctrico, migran a través del agua hasta la superficie de la pieza.

Una vez en la pieza, los materiales cargados ceden su carga debido a la neutralización por los iones OH generados electroquímicamente (proceso catódico). Al ceder su carga, los materiales del recubrimiento se desprenden de la suspensión de agua y se unen como un recubrimiento en la superficie de la pieza. El grosor del recubrimiento electrolítico suele oscilar entre 10 y 30 micrómetros (0,4 a 1,2 mils). Las piezas de automoción que se recubren eléctricamente suelen recibir un tratamiento de fosfato de zinc o de hierro antes de la deposición. Este tratamiento mejora la aplicación de la capa de pintura.

### 4.3.2 Recubrimientos metálicos

Se pueden aplicar varios tipos de recubrimientos

metálicos a sustratos ferrosos y no ferrosos para inhibir la corrosión y/o proporcionar un acabado decorativo. La elección de un material de recubrimiento concreto depende de la gravedad del entorno corrosivo, de si la pieza está sometida a desgaste y abrasión, y del grado de visibilidad de la pieza en servicio.

Los cuatro métodos más comunes para aplicar revestimientos metálicos son:

- **Electrodeposición:** El revestimiento se deposita sobre el metal del sustrato aplicando un potencial eléctrico entre el metal del sustrato (cátodo) y un ánodo adecuado en presencia de un electrolito. El electrolito suele consistir en una solución de agua que contiene la sal del metal que se va a depositar y otras adiciones que contribuyen al proceso de revestimiento.
- **Revestimiento mecánico:** El polvo metálico finamente dividido se suelda en frío al sustrato haciendo girar la pieza, el polvo metálico y un medio adecuado, como las perlas de vidrio, en una solución acuosa que contiene agentes adicionales. El revestimiento mecánico se utiliza habitualmente para aplicar zinc o cadmio a piezas pequeñas, como las fijaciones.
- **Sin electrodo:** En este sistema de revestimiento no eléctrico, un metal de revestimiento, como el cobalto o el níquel, se deposita sobre un sustrato mediante una reacción química en presencia de un catalizador.
- **Inmersión en caliente:** Un metal de recubrimiento se deposita sobre un sustrato sumergiéndolo en un baño fundido del metal de recubrimiento. Muchos componentes estructurales de los bajos de la carrocería se fabrican con chapa de acero con un recubrimiento metálico. Las acerías suministran chapa laminada en caliente o en frío en forma de bobina con revestimientos metálicos aplicados por galvanoplastia o por inmersión en caliente. Los revestimientos más habituales son el zinc, el zinc-hierro, el zinc-níquel, el aluminio, el aluminio-cinc, el estaño y el plomo-estaño.

### 4.3.3 Recubrimientos orgánicos

La aplicación de un recubrimiento orgánico, como la pintura, es un método rentable de protección contra la corrosión. Los revestimientos orgánicos actúan como una barrera contra una solución corrosiva o un electrolito. Impiden, o retardan, la transferencia de carga electroquímica de la solución corrosiva al metal que se encuentra debajo del recubrimiento orgánico. El grosor del recubrimiento de la película de autodeposición depende del tiempo y la temperatura. Al principio, el proceso de deposición es bastante rápido, pero se ralentiza a medida que la película empieza a formarse o madurar. Mientras la pieza a recubrir esté en el baño, el proceso continuará; sin embargo, la velocidad de deposición disminuirá.

Normalmente, los espesores de la película se controlan de 15 a 25 micrómetros (de 0,6 a 0,8 mils). La autodeposición recubrirá cualquier metal que el líquido toque. Las piezas de forma tubular, las piezas ensambladas o las piezas con diseños intrincados también pueden recubrirse mediante este proceso. La autodeposición no requiere una etapa de fosfatado y el revestimiento se cura a una temperatura relativamente baja.

#### **4.3.4 Recubrimientos en polvo**

En el proceso de recubrimiento en polvo, se aplica un polvo seco a una superficie limpia. Tras la aplicación, el objeto recubierto se calienta, fundiendo el polvo en una película suave y continua. Los polvos están disponibles en una amplia gama de tipos químicos, propiedades de recubrimiento y colores. Los tipos más utilizados son el acrílico, el vinilo, el epoxi, el nailon, el poliéster y el uretano. Las técnicas modernas de aplicación de polvos se dividen en cuatro categorías básicas: proceso de lecho fluidizado, proceso de lecho electrostático, proceso de pulverización electrostática y proceso de pulverización de plasma. El proceso de pulverización electrostática es el método más utilizado para aplicar polvos. En este proceso, el objeto eléctricamente conductor y conectado a tierra se rocía con partículas de polvo cargadas y no conductoras. Las partículas cargadas son atraídas por el sustrato y se adhieren a él. A continuación, el calor del horno funde las partículas en una

película continua y lisa. Se obtienen espesores de recubrimiento del orden de 25 a 125 micrómetros (1 a 5 mils). Controlar un espesor de película bajo es difícil. Se puede utilizar una cabina y un sistema de recogida para recoger el exceso de pulverización y reutilizarlo.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

La combinación de recubrimientos metálicos y no metálicos proporciona una protección mejor y excepcional, como el proceso ELPO automatizado.

Dado que el zinc es uno de los metales más reactivos de la naturaleza, es el metal más buscado para proteger las placas de acero de automóviles de la corrosión ácida o la corrosión básica, que anteriormente era un metal más fuerte.

Entre los recubrimientos metálicos probados en ambientes de pH extremo, los recubrimientos de cromo mostraron la mayor resistencia a la corrosión, con recubrimientos galvanizados, verdes y de cobre en orden descendente.

### **Recomendaciones**

Para seleccionar un proceso anticorrosivo apropiado, es importante conocer las propiedades, características, ambiente de trabajo o procesamiento del metal base. Estos también afectan la correcta deposición de la pintura.

Para la aplicación de diferentes pinturas, todos los equipos de rociado y equipos neumáticos deben limpiarse y mantenerse para evitar que la mezcla de colores afecte la textura y el color de la superficie terminada.

Todas las operaciones de pintura requieren el uso de equipo de protección adecuado para cada tipo de trabajo, máscara, casco, guantes, zapatos, ropa, etc. Buena ventilación por el riesgo de liberación de disolventes y gases tóxicos, debería ser un buen sistema de protección laboral.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] M. Á. Castillo, «Protección anticorrosiva de la carrocería,» *Centro Zaragoza*, 2011.
- [2] R. V. Caro, «Estudio de las ventajas de los nuevos sistemas de protección catódica y anticorrosiva, instalados en buques de guerra,» *Marítima*, pp. 5-9, 2018.
- [3] D. Gallegos, «Protección del acero con pinturas con sales de tierras raras como pigmentos anticorrosivos,» *REC Recubrimientos*, pp. 3-43, 2014.
- [4] H. J. Jiménez, «Corrosión acelerada en medio salino y adherencia de sistemas de pinturas depositadas sobre acero,» *Mundo Fesc*, pp. 1-8, 2016.
- [5] C. Echeverría, «Influencia del diseño anticorrosivo en la protección anticorrosiva del área de combustibles de una central eléctrica diésel MTU Serie 4000,» *Revista química*, pp. 1-12, 2015.
- [6] O. Restrepo, «Obtención de un pigmento natural para la formulación de pinturas anticorrosivas,» *Revista latinoamericana de metalurgia y materiales*, pp. 159-162, 2009.
- [7] J. Marulanda, «Resistencia a la corrosión en ambiente salino de un acero al carbono recubierto con aluminio por rociado térmico y pintura poli aspártica,» *Revista ION*, pp. 21-31, 2017.
- [8] C. Astudillo, «Axalta,» 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3PtDENY>.
- [9] C. L. Uribe, «Periodista metal actual,» 2020. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3RWAgUj>.
- [10] J. Amalvy, «Nanociencia y nanotecnología,» *IBYME*, pp. 4-14, 2018.
- [11] R. f. Milla, «Desarrollos tecnológicos en el pretratamiento de piezas de acero laminado para un posterior proceso de pintado en polvo electrostático,» *UTEC*, pp. 1-28, 2020.
- [12] G. Canosa, «Pinturas anticorrosivas epoxidicas basadas en zinc esférico,» *smartex*, pp. 40-65, 2019.
- [13] J. Herradda, «Niveles de protección anticorrosiva en atmósfera marina proporcionada por recubrimientos de bajo impacto ambiental,» *Ciencia y tecnología*, pp. 83-97, 2021.
- [14] P. Carrera, «Recubrimientos de conversión libres de Cr para ser usados en la protección anticorrosiva de acero electrocincado,» *CICPBA*, pp. 50-70, 2020.
- [15] M. Echeverría, «Influencia del diseño en la protección anticorrosiva en condiciones climáticas de Cuba,» *Tecnología química*, pp. 51-58, 2019.
- [16] L. R. Morgat, «Pinturas epoxi base agua con fosfatos comerciales como pigmentos anticorrosivos,» *Invesrtigación joven*, pp. 9-12, 2018.
- [17] D. E. A. Gómez, «Protección anticorrosiva de un convertidor de óxido natural (Mimosa,» *Nova Scientia*, vol. 13, n° doi.org/10.21640/ns.v13i27.3021 , p. 22, 2021.
- [18] M. S. Huerta, « De pintar autos a crear nanoestructuras,» *AP*, pp. 1-19, 2022.
- [19] S. Albarracín, «Aparejos para el pintado de autos,» *Autocrash*, pp. 1-12, 2016.
- [20] C. Guilcaso, «Influencia del recubrimiento de cromato de zinc en la corrosión de los aceros ASTM A-500 y A-500 galvanizado expuestos en una cámara de niebla salina,» *INGENIUS*, n° <https://doi.org/10.17163/ings.n26.2020.06>, p. 15, 2021.
- [21] M. P. Rivera, «EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO,» *Perfiles*, vol. 2, n° ISSN 2477-9105 , 2019.
- [22] D. Sandra, «Hematita especular como pigmento natural en pinturas industriales,» *PROSPECTIVA*, n° <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250977010>, 2010.
- [23] G. Canosa, «PINTURAS BASADAS EN RESINA EPOXI ALIFÁTICA CURADA CON ALCOXISILANOS,» *REC Recubrimientos*, n° ISSN 1669-8878, 2014.
- [24] O. D'Alessandro, «Pinturas alquídicas con mordenita intercambiada con La (III) y Pr (III) como pigmento anticorrosivo para la protección de acero SAE 1010,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, n° <http://dx.doi.org/10.4067/S0718->

- 33052020000300404 , 2020.
- [25] Z. Yu, «A Review of Recent Developments in Coating Systems for Hot-Dip Galvanized Steel,» *Frontiers in Materials*, n° doi: 10.3389/fmats.2020.00074, 2020.
- [26] S. Shibli, «A review on recent approaches in the field of hot dip zinc,» *Surface & Coatings Technology*, n° doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.12.054, 2014.
- [27] M. Puig, «Adhesion enhancement of powder coatings on galvanised steel by addition of organo-modified silica particles,» *Progress in Organic Coatings*, 2014.
- [28] M. Puig, «Anticorrosive properties enhancement in powder coating duplex systems by means of ZMP anticorrosive pigment.,» *Progress in Organic Coatings*, 2014.
- [29] P. Chung, «Effects of heat treatment on microstructure evolution and corrosion performance of mechanically plated zinc coatings,» *Surface & Coatings Technology*, 2019.
- [30] P. Shreyas, «Embrittlement of hot-dip galvanized steel: A review,» *AIP Conference Proceedings*, n° <https://doi.org/10.1063/5.0036137>, 2021.
- [31] R. Grothe, «Enhanced corrosion resistance of adhesive/galvanised steel interfaces by nanocrystalline ZnO thin film deposition and molecular adhesion promoting films,» *The Journal of Adhesion*, n° <https://doi.org/10.1080/00218464.2021.1957676>, 2021.