

TECNOLOGÍAS DE RECUBRIMIENTO / PINTURA PARA AUTOPARTES: ELECTRODEPOSICIÓN

[Claudia Sánchez](#), Consultora en Innovación Tecnológica

Resumen — De acuerdo con los informes de investigación y desarrollo (I*D) de la OECD, uno de los sectores con mayor intensidad de conocimiento es el automotor. Este sector está continuamente enfrentando mejora continua, optimización de procesos y diseños y la implementación de nuevas tecnologías que permitan cumplir con esos objetivos. Uno de los temas de desarrollo e implementación de mejoras es el área de recubrimiento de partes, así como de las cabinas del vehículo en su conjunto. A partir de estos procesos de pintura o recubrimiento, se busca tanto la protección de las piezas que conforman el vehículo contra la corrosión, al tiempo que se busca mejores condiciones ambientales y optimización del uso de los insumos en los procesos de fabricación. En este artículo se hará un acercamiento al estado del arte del proceso de recubrimiento conocido como electrodeposición, que es un proceso ampliamente establecido en esta industria, pero que recientemente ha tomado importancia en procesos de investigación, desarrollo e innovación, para la mejora de los procesos y de las propiedades de los productos que son tratados a través del mismo

Palabras Clave — Línea de Pintura, Procesos de manufactura, Electrodeposición, Industria automotriz, Autopartes, E-Coating.

1. INTRODUCCIÓN

Los elementos estructurales que componen los chasis de los vehículos automotores, son piezas sometidas a condiciones de desempeño y ambientales que requieren una fabricación que garantice condiciones de funcionamiento bajo parámetros de seguridad para los usuarios del vehículo y su entorno, con base en el cumplimiento de las propiedades del producto.

Se estima que la industria automotriz es una de las más exigentes tecnológicamente, entre los diferentes sectores de industria manufacturera (Sundararajan, Joshi, & Rama Krishna, 2016), esto se debe a que se encuentra continuamente buscando nuevas tecnologías y materiales con el fin de optimizar aspectos como uso de combustible, peso, emisiones, manteniendo un adecuado rendimiento del vehículo y el nivel de confort exigido por el usuario final (ibid).

El recubrimiento de las diferentes partes del vehículo tiene exigencias considerables: Por ejemplo, a través de recubrimiento de las piezas se espera su protección en términos de resistencia a la corrosión, mientras se presenta con acabados duraderos en el tiempo y atractivos para el cliente (Lambourne & Strivens, 1999).

Por otro lado, el proceso de recubrimiento o pintura debe contemplar las condiciones de fabricación en línea, por lo cual debe ser procesos diseñados de tal forma que se puedan desarrollar de manera flexible y optimizando los recursos utilizados. El objetivo es lograr las tasas que demanda la cadena de producción, cumpliendo con las restricciones de tecnología

tanto en los procesos como en los materiales (Ibid). De acuerdo con Merlo (2010) actualmente de las carrocerías fabricadas en el mundo, más del 98% usan electrodeposición como parte de sus procesos de recubrimiento.

2. ESTADO DEL ARTE

Los procesos de recubrimiento y pintura de cuerpos de vehículos automotores y camiones, ha evolucionado considerablemente para asegurar un acabado uniforme de la pintura y proteger los cuerpos de los vehículos frente a ambientes hostiles donde interactúan con agua, viento, polvo y residuos para evitar la corrosión y el desgaste de las partes.

Sundararajan, et al. (2016) mencionan que diferentes tecnologías de recubrimiento, como pulverización térmica, deposición láser, métodos electrolíticos y técnicas basadas en vapor, han sido usadas en la industria automotriz por considerarse adecuadas para cumplir requerimientos técnicos específicos de las piezas que componen los vehículos fabricados. Se debe recordar que los recubrimientos que se generan a través de esas técnicas tienen diferentes propiedades funcionales, debido a que también tienen diferentes características de composición y estructura (Sundararajan, Joshi, & Rama Krishna, 2016).

Entre los métodos electrolíticos se encuentra la electrodeposición, que se basa en el principio físico de atracción entre polos opuestos. Para la realización de este proceso, las piezas metálicas se cargan con co-

riente, para luego sumergirse en un baño con partículas de tinta con carga opuesta (Losey, Kelly, Badgayan, Sahu, & Rama Sreekanth, 2017), facilitando que toda la superficie de la parte, incluyendo las geometrías que serían complejas para aplicación de pintura en un proceso convencional (como por ejemplo esquinas y grietas) tengan un revestimiento continuo, siendo catalogado como un método eficiente y económico con respecto a los demás métodos de aplicación (Lambourne & Strivens, 1999).

Lambourne et al. (1999) indicaban que el proceso de electrodeposición se ha constituido como el principal método de recubrimiento usado en las carcasas de acero de los automóviles. Mencionan estos autores que, en el caso de las cabinas de vehículos, el proceso tiene diferentes pasos que abarcan: desengrasado, tratamiento con fosfato, electrodeposición (primer) y aplicación de capas de acabado (por pulverización), incrementando la resistencia a la corrosión y mejorando la apariencia del vehículo (Lambourne & Strivens, 1999).

2.1. TIPOS DE PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN

La solución usada en electrodeposición es una mezcla de resina, aglutinante, pasta (que contiene los pigmentos) y solvente. El proceso de electrodeposición puede ser tipo anódico o catódico (Akafuah, y otros, 2016).

El proceso anódico puede realizarse al cargar negativamente las partículas de pintura, que se depositarán sobre la pieza (sustrato metálico) cargada positivamente (Merlo, 2010).

Por su parte, la electrodeposición catódica que se desarrolló posteriormente (en los años 70s), se realiza al tener carga positiva en las partículas de pintura, lo cual ocasiona que estas sean atraídas al sustrato metálico cargado negativamente. Dadas las características de proceso, se mejoró la resistencia a la corrosión usando esta última técnica (Ibid).

Con respecto al proceso de electrodeposición de la carrocería de un vehículo, esta puede ser usada como ánodo y también como cátodo. Sin embargo, se ha considerado que la electrodeposición catódica da mejor resultado en la protección contra la corrosión de estas piezas (Lambourne & Strivens, 1999).

2.2. PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN

La electrodeposición es una tecnología ampliamente usada en la industria automotriz que se ha aplicado al tratamiento de distintas partes metálicas en la industria en los últimos años. Desde los años 60s se viene utilizando esta tecnología y hoy se estima que cerca del 98% de todos los cuerpos de automóviles utilizan

esta técnica (Bakhtiary-Noodeh, 2017-B).

Los procesos y las tecnologías asociadas a la electrodeposición han evolucionado considerablemente y hoy en día ofrecen desempeños sobresalientes al minimizar la generación de residuos y productos químicos. Esto hace que los nuevos procesos sean amigables con el medio ambiente y a la vez económicamente eficientes, gracias a que disminuye el uso de pintura dispersa y el uso de materiales, a niveles que con técnicas anteriores no se lograba alcanzar (Ibid).

A pesar de las mejoras en el comportamiento general contra la corrosión de los recubrimientos electrolíticos catódicos, su protección de los bordes bajos de las piezas es un problema importante ya que el nivel de recubrimiento no alcanza a ser el mismo que en las superficies planas, haciendo de estas áreas, sectores críticos a la corrosión y al desgaste (Ibid).

El proceso de electrodeposición de pintura para partes metálicas en la fabricación de automóviles se divide en cuatro etapas principales las cuales se muestran a continuación (Merlo, 2010):

2.2.1. LIMPIEZA Y PRE-TRATAMIENTO

El proceso de limpieza es crucial para asegurar un alto desempeño en el acabado de la pintura a aplicar en los siguientes procesos. Las piezas por lo general en los procesos previos de transporte, soldado y adecuación son impregnadas con grasas, polvos y distintos residuos que deben ser removidos para una correcta aplicación de la pintura. Es por esto que limpiadores alcalinos son utilizados para asegurar la limpieza adecuada de las piezas.

También en esta fase se realiza un pre-tratamiento de fosfatado (Hierro o Zinc) los cuales son aplicados para proveer adhesión entre la electrodeposición y el sustrato e igualmente mejorar la protección a la corrosión. Finalmente se realiza por lo general un enjuague con agua des-ionizada antes de introducir la pieza al proceso de electrodeposición (ibid).

2.2.2. BAÑO DE ELECTRODEPOSICIÓN

Este proceso consiste en una solución que se compone entre un 80-90% de agua desionizada y 10-20% de sólidos de pintura. El agua des-ionizada actúa como un portador para las partículas sólidas de pintura la cual se compone de resinas, pigmentos y solventes. La resina es el factor principal de la película de pintura ya que provee propiedades como la protección a la corrosión y durabilidad contra los rayos ultravioletas. Los pigmentos proveen el color, brillo e igualmente protección a la corrosión. Los solventes ayudan a asegurar la uniformidad en la película de pintura para su buena apariencia y aplicación. Durante el proceso de

electrodeposición, la pintura es aplicada a una parte con un cierto grosor de película, el grosor es regulado a través del nivel de voltaje aplicado. El proceso de deposición se limita a sí mismo y se reduce en la medida que la pieza se aísla eléctricamente cuando se aplica el recubrimiento y pintura.

Los sólidos de pintura se depositan inicialmente cerca al electrodo, por tanto estas zonas de la pieza en tratamiento son las primeras en aislarse eléctricamente por lo que los sólidos de pintura son forzados a buscar zonas menos aisladas donde el metal no está aún recubierto, asegurando un recubrimiento completo de la pieza. A esta característica de la electrodeposición se le conoce como “poder de penetración” o “throwing power” en inglés que se refiere a la capacidad de colocar un recubrimiento de manera uniforme en una pieza que contenga formas irregulares.

El proceso de electrodeposición depende de varios componentes que permiten su correcta operación como lo es: un rectificador el cual provee carga de corriente directa permitiendo la deposición de material iónico, bombas de circulación para mantener el baño de pintura de manera adecuada, un intercambiador de calor y chiller para mantener controlada la temperatura del baño de electrodeposición, filtros los cuales remueven partículas de suciedad introducidas dentro del proceso y ultrafiltros que permiten el permeado para el enjuague y la recuperación de excesos de sólidos de pintura.

2.2.3. POST-ENJUAGUE

Al salir del proceso de electrodeposición algunas partículas de pintura en exceso que no se depositaron eléctricamente quedan sobre la superficie y deben ser removidas para mantener la eficiencia del proceso y la estética del producto final. Los materiales de enjuague se proveen desde los ultra-filtradores y son llamados impregnadores. Estas sustancias contienen elementos orgánicos de bajo peso molecular y algunos solventes. Los sólidos de pintura en exceso y los elementos de enjuague e impregnadores son devueltos al proceso en contraflujo (Lovell, 1990)

2.2.4. HORNEADO

Después de aplicar el post enjuague, las partes recubiertas entran al horno para completar el proceso de curado de la película de pintura. Las temperaturas de horneado oscilan entre los 82 C° y los 190 C° dependiendo del tipo de electrodeposición aplicada.

2.3. NUEVAS CARACTERÍSTICAS Y USOS DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN

Los nuevos usos para electrodeposición continúan apareciendo, ofreciendo rendimientos superiores, uti-

lizando procesos y materiales ecológicos y económicamente eficientes. Se encuentran ejemplos que incluyen piezas y accesorios para automóviles y en otras industrias, como es el caso de electrodomésticos, intercambiadores de calor, objetos decorativos chapados y componentes sensibles al calor (Merlo, 2010).

Las principales ventajas de los procesos de electrodeposición actuales incluyen:

- **Con respecto al producto:** cobertura total de piezas complejas con una uniformidad de película. Se presentan eficiencias de transferencia de material en un rango de 95 a 99%.
- **Con respecto al proceso:** tienen sistemas altamente automatizados de circuito cerrado con excelente productividad y bajos costos de operación. Presentan velocidades de línea rápidas y altas densidades de trasiego de piezas, muy bajas emisiones de aire y aguas residuales, que fomentan el cumplimiento ambiental y sistema totalmente cerrado que conduce a un método de aplicación de pintura más limpia y segura (Merlo, 2010).

3. NUEVAS TECNOLOGÍAS

3.1. NUEVOS MATERIALES

3.1.1. APLICACIÓN DE POLÍMEROS EPOXY

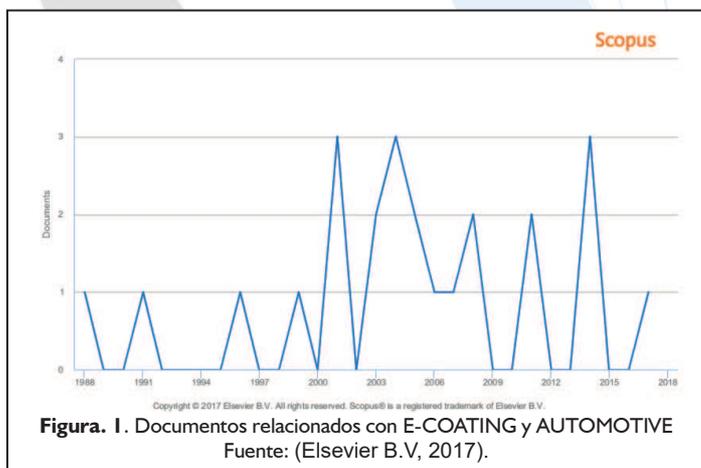
El uso de polímeros Epoxy mejorados es una vertiente tecnológica que proviene de aplicaciones tradicionales, como la propuesta en su investigación Bakhtiary-Noodeh (2017-B) en el que utiliza un microgel como partículas ultrafinas. Los microgeles son modificadores reológicos, los cuales pueden ayudar a incrementar la viscosidad del recubrimiento. Esta aproximación en el control de flujo a través de microgeles permite incrementar significativamente la protección en la corrosión en los bordes, evitando que los depósitos de recubrimientos se retiren de los bordes durante el curado, sin el aumento en la rugosidad de la película de pintura final ni afectación en la estabilidad de la pintura.

En su investigación Bakhtiary-Noodeh (2017-B) utiliza un microgel de epoxy-amina en la electrodeposición. Los resultados de mejora en la deposición en bordes se analizan con pruebas de Spray de sal y espectroscopia de impedancia electroquímica, también las propiedades termo-mecánicas son investigadas con un análisis dinámico termo-mecánico entre otros. Los resultados de esta investigación fueron satisfactorios, encontrando progresos en el recubrimiento, basados en la mejora de la viscosidad para el proceso de horneado.

3.1.2. APLICACIÓN DE NANO PARTÍCULAS

El uso de nano partículas se ha introducido en las tecnologías de electrodeposición como una opción para contrarrestar el problema del recubrimiento de bordes en piezas metálicas. En el estudio de (Bakhtary-Noodeh M. M., 2017) se analizó el efecto de nano partículas de silicio en las propiedades mecánicas del proceso de electrodeposición, obteniendo resultados que mejoraron el proceso de electrodeposición y la calidad de la pieza final.

Para mejorar el desempeño tanto de materiales como del recubrimiento es útil reducir el tamaño de grano. La combinación de composiciones únicas y novedosas microestructuras, han mostrado un potencial sobresaliente para una variedad de aplicaciones estructurales y no estructurales (Gurrappa, 2008). Los nanomateriales están clasificados como policristales de fase sencilla o de multifase y según su dimensionalidad se clasifican en Cero Dimensional, Una dimensión (Laminar), Dos Dimensiones (Filamentos) o tres dimensiones (cristalinos). También pueden contener los nanomateriales fases cristalinas, quasi-cristalinas o amorfas y pueden ser metálicas, cerámicas o composites. Entre los materiales anteriores, se ha prestado la mayor atención a la síntesis, consolidación y caracterización de los cristales nanoestructurados 3D, los cuales se usan en aplicaciones que requieren alta resistencia y mejor formabilidad.



En la investigación de Low et al, (2006) demostró que la inclusión de partículas nanométricas puede dar una mayor microdureza y resistencia a la corrosión a las piezas tratadas, así como un crecimiento modificado para formar un depósito de metal nanocristalino y un cambio en el potencial de reducción de un ion metálico. Muchos parámetros de funcionamiento influyen en la cantidad de partículas incorporadas, incluyendo densidad de corriente, agitación del baño (o movimiento de la pieza de trabajo) y composición del electrolito. Se han logrado altas tasas de incorporación de partículas dispersadas usando una alta concentración de nanopartículas en la solución

electrolítica, y una baja concentración de especies electroactivas; también el uso de la ultrasonificación durante la deposición y técnicas de corriente pulsada mejoró el proceso de deposición (Low, 2006).

Como resultado de las propiedades únicas de los nanomateriales electrodepositados, se han logrado varias propiedades, como por ejemplo, la combinación de mayor resistencia al desgaste por efecto de dureza y reducción de la corrosión localizada, resultado de un mejor comportamiento del revestimiento protector. Los materiales protectores pueden utilizarse como superficie dura sobre sustratos más suaves y menos resistentes al desgaste (Gurrappa, 2008).

3.2. NUEVOS PROCESOS

Con respecto a los métodos electrolíticos, se ha desarrollado un nuevo proceso conocido como electrodeposición pulsada (PED). Su desarrollo implica el uso de corriente pulsante con el fin de hacer cambios en la composición y el tamaño de grano del depósito a través de su espesor. El objetivo es modificar las propiedades de la película de recubrimiento (Sundararajan, Joshi, & Rama Krishna, 2016). Además, PED facilita la obtención de recubrimientos con mejoras en las propiedades mecánicas. Las capas generadas en procesos de investigación han permitido obtener incremento tanto en la dureza del revestimiento, como en la resistencia al desgaste, reducción de la fricción y mejora en la resistencia a la corrosión (Ibid).

4. TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN

Con respecto a las publicaciones realizadas recientemente sobre el tema, en SCOPUS, se realizaron búsquedas con dos criterios específicos. El primero ("ecoating" and automotive) y el segundo ("electrodeposition" automotive) con un filtro en el área de ingeniería (Elsevier B.V, 2017).

4.1. "E-COATING" AND AUTOMOTIVE

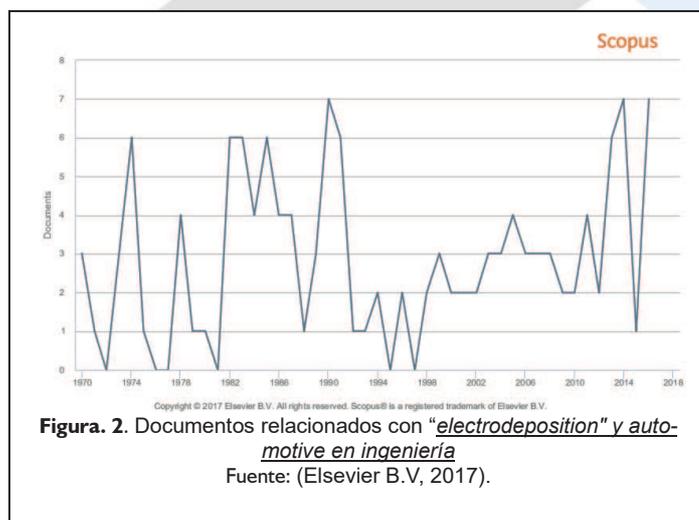
Se encontraron 24 documentos, la mayoría de los cuales se han desarrollado a partir del año 2000, con mayor número de producción en 2001, 2004 y 2014, como se puede ver en la Figura 1. Aproximadamente, según la misma fuente, el 70% de los artículos se agrupan en temáticas asociadas a ingeniería y en ciencia de los materiales.

Con respecto a la filiación de los autores de estos documentos, aunque dos de los artículos se encuentran asociados con una universidad, las entidades con las que están vinculados los autores son en mayor proporción empresas privadas, en su gran mayoría del sector químico, concretamente fabricantes de pintura como PPG Industries.

4.2. "ELECTRODEPOSITION" AND AUTOMOTIVE

Adicionalmente, en este caso se filtró específicamente para el área de ingeniería.

Se encontraron 134 documentos, que en términos de tiempo tuvo amplia difusión entre los años 80-90 y que recientemente se han desarrollado nuevos procesos de investigación, que han ocasionado la publicación entre el año 2015 y 2016 de nuevos documentos, como se puede ver en la Figura 2. Aproximadamente, según la misma fuente de estos documentos, el 40% estaba también relacionado con ingeniería de los materiales y el 20% relacionado con temas medioambientales.



Con respecto a la filiación de los autores, se encuentra un número importante de documentos publicados por empresas del sector metalmeccánico, que en su mayoría son proveedoras del sector automotriz, así como tres documentos de Ford Motor Company. Una particularidad es que los documentos publicados por estas empresas tienen ya tiempo y los más recientes son de Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation de 2013, Aichi Steel Corporation en 2011, AutoNetworks Technologies, Ltd en 2009, 2010 y 2011, Nisshin Steel Co.,Ltd. en 2009 y 2010, los cuales en su mayoría fueron publicados con otras empresas o con universidades. Se presenta también un número importante de documentos publicados por investigadores de Universidades de diferentes países, en mayor proporción de Asia.

5. CONCLUSIÓN

El proceso de electrodeposición está ampliamente difundido en los procesos de fabricación de vehículos, para los procesos de pintura de cabina, como de diferentes autopartes. Es utilizado en piezas que requieren recubrimientos contra la corrosión y mejora en diferentes propiedades mecánicas, de manera que el producto pueda cumplir con la funcionalidad para la cual fue diseñado.

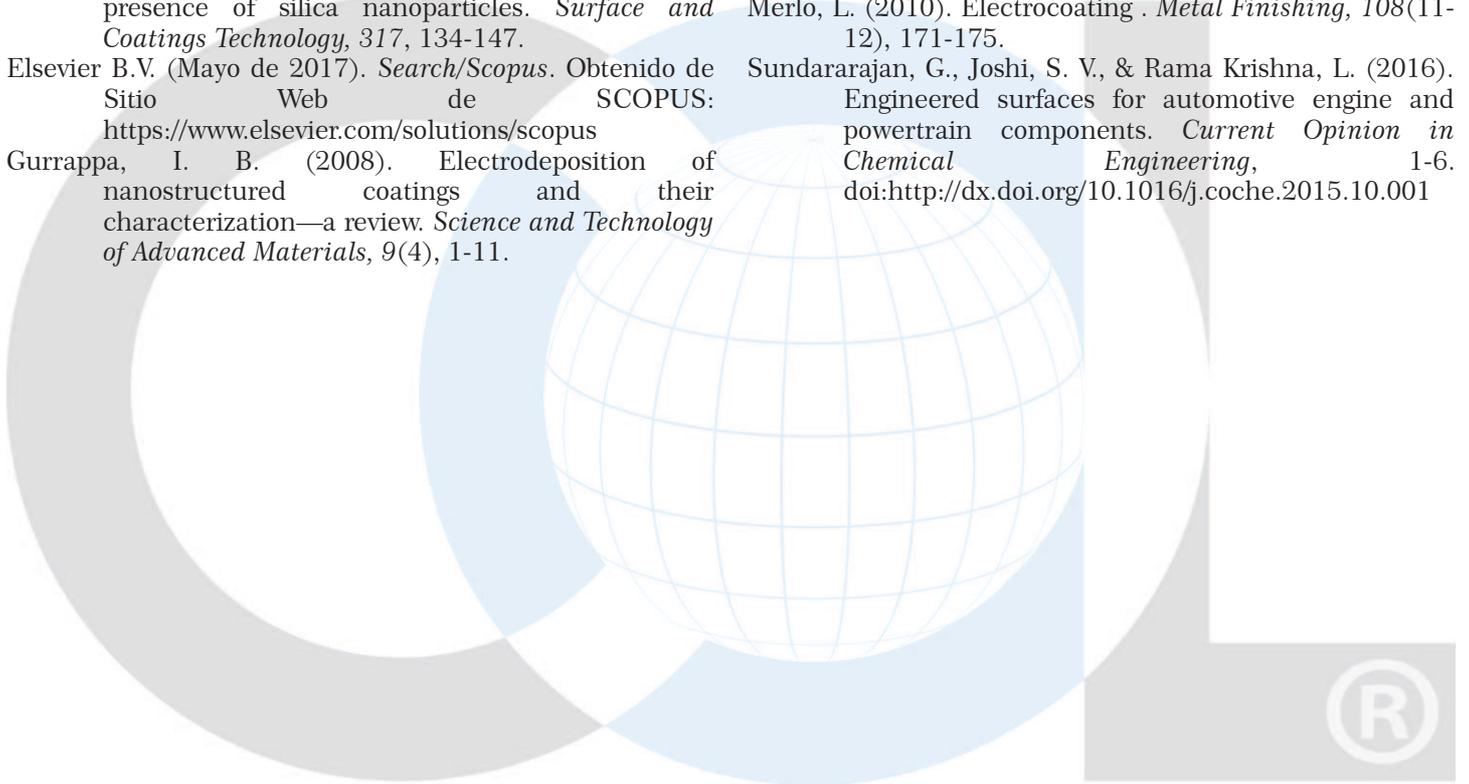
En los procesos convencionales de recubrimiento, se ha identificado que la electrodeposición catódica, tiene mejores resultados en la protección contra la corrosión.

Aunque es un proceso de amplia difusión, al ser usado en la industria automotriz, se han identificado relativamente recientes procesos de investigación, desarrollo y mejora continua, que permitirán optimizar el proceso de electrodeposición, garantizando el uso de materiales ecológicos, la optimización en el uso de insumos, generando así pintura más limpia; adicionalmente, se ha buscado la automatización de los procesos y el desarrollo de productos económicamente eficientes con mejor comportamiento de las capas de recubrimiento.

Del análisis bibliométrico se pudo observar que la tecnología específica de electrodeposición tuvo un desarrollo inicial en los años 70 y 80, tal como se mencionó al inicio del artículo; sin embargo, se han desarrollado recientemente objetos de investigación en estos temas, haciendo nuevamente vigente esta temática.

BIBLIOGRAFÍA

- Akafuah, N. K., Poozesh, S., Salaimah, A., Patrick, G., Lawler, K., & Saito, K. (2016). Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review. *Coatings*, 6-24.
- Bakhtiary-Noodeh, M. M. (2017). Improvement of the edge protection of an automotive electrocoating in presence of a prepared epoxy-amine microgel. *Progress in Organic Coatings*, 103, 111-125.
- Bakhtiary-Noodeh, M. M. (2017-B). Edge protection improvement of automotive electrocoatings in the presence of silica nanoparticles. *Surface and Coatings Technology*, 317, 134-147.
- Elsevier B.V. (Mayo de 2017). *Search/Scopus*. Obtenido de Sitio Web de SCOPUS: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>
- Gurrappa, I. B. (2008). Electrodeposition of nanostructured coatings and their characterization—a review. *Science and Technology of Advanced Materials*, 9(4), 1-11.
- Lambourne, R., & Strivens, T. A. (Edits.). (1999). *PAINT AND SURFACE COATINGS: Theory and Practice* (2 ed.). Cambridge (England): Woodhead Publishing Ltd.
- Losey, M. W., Kelly, J. J., Badgayan, N. D., Sahu, S. K., & Rama Sreekanth, P. S. (2017). Electrodeposition. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 1-20.
- Lovell, G. (1990). Electrocoat Basics. *Prod. Finish, BASF Corporation*, 54.
- Low, C. W. (2006). Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit. *Surface and Coatings Technology*, 201(1), 371-383.
- Merlo, L. (2010). Electrocoating. *Metal Finishing*, 108(11-12), 171-175.
- Sundararajan, G., Joshi, S. V., & Rama Krishna, L. (2016). Engineered surfaces for automotive engine and powertrain components. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1-6. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.coche.2015.10.001>



INNOVACION