



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Aplicación del Proceso de Electrodeposición de Cobre
Mediante Baño Electrolítico en Pieza de Uso Automotriz**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

Ingeniero Automotriz

Autor: Avila Reyes Eddy Orlando

Tutor: Ing. Adolfo Peña Pinargote, M.Sc.

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Adolfo Juan Peña Pinargote, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Aplicación del Proceso de Electrodeposición de Cobre Mediante Baño Electrolítico en Pieza de Uso Automotriz realizado por Ávila Reyes Eddy Orlando ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Adolfo Juan Peña Pinargote

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Avila Reyes Eddy Orlando declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Avila Reyes Eddy Orlando

C.I.: 0927891259

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo, primeramente, a Dios por brindarme la salud y permitir que desarrolle este tema. También agradezco a mi esposa, Katherine Fuentes y a mis hijos, quienes han sido mi apoyo incondicional y por tener mucha paciencia conmigo.

A mi padre y hermanos, quienes me impulsaron y me brindaron fortaleza, y confianza y la ayuda económica para continuar aun cuando, en ocasiones, se terminaban las fuerzas y ganas de continuar.

Agradecimientos

Agradezco a mis profesores, que con paciencia y diligencia me enseñaron lo que aprendí durante este periodo de tiempo, estoy seguro de que sin su ayuda no estaría aquí en este momento.

También de manera sincera agradezco a mis compañeros que aparte de su compañía me brindaron su amistad, sus conocimientos y sabiduría la cual será para toda la vida.

Índice de Contenido

Caratula.....	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos.....	V
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tablas.....	IX
Índice de Fórmulas	X
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I.....	4
Problema de la investigación.....	4
1.1. Tema de investigación.....	4
1.2. Planteamiento, formulación y sistematización del problema.....	4
1.2.1. Planteamiento del problema	4
1.2.2. Formulación del problema	5
1.3. Sistematización del problema	5
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Justificación e importancia de la investigación.....	6
1.5.1. Justificación teórica.....	6
1.5.2. Justificación metodológica	8
1.5.3. Justificación práctica.....	9
1.5.4. Delimitación temporal.....	9
1.5.5. Delimitación geográfica.....	9
1.5.6. Delimitación del contenido.....	10
1.6. Alcance.....	10
Capítulo II.....	12
Marco de referencia.....	12
2.1. La Electrodeposición en metales.....	12
2.2. La Electroquímica en la electrodeposición de metales.....	13
2.3. Materiales utilizados en la electrodeposición	14
2.4. El Baño de tipo electrolítico.....	15
2.5. Principio utilizado en el baño electrolítico.....	16
2.5.1. Preparación de la superficie antes del baño electrolítico	17
2.5.2. Preparación del electrolito para el baño de cobre	17
2.5.3. Corriente eléctrica aplicada	18
2.5.4. Enjuague y secado del producto a ser recubierto	18
2.5.5. Baño electrolítico de cobre	18
2.5.6. Leyes aplicadas en el baño electrolítico de cobre	19
2.5.7. Primera ley de Faraday	19
2.5.8. Segunda ley de Faraday	19
2.5.9. Aplicaciones de la electrodeposición de cobre	20
2.5.10. Ventajas de la electrodeposición de cobre	21

Capítulo III.....	23
Metodología.....	23
3.1 Propósito del capítulo	23
3.1.1. Normas y Cálculos Utilizados	23
3.2 Diseño metodológico	25
3.3 Procedimientos de análisis de la electrodeposición de cobre	26
3.3.1 Primer análisis: Preparación de la superficie y el electrolito	26
3.3.2 Segundo análisis: Parámetros eléctricos del proceso	27
3.3.3 Tercer análisis: Evaluación del recubrimiento	27
Capítulo IV	30
Análisis de resultados	30
4.1 Análisis de datos obtenidos utilizando electrolito a base de vinagre.....	30
4.2 Análisis de resultados obtenidos aplicando electrolito a base de ácido sulfúrico.....	32
4.3 Análisis de resultados obtenidos aplicando 1.5 voltios	33
Conclusiones	35
Recomendaciones.....	36
Bibliografía	37

Índice de Figuras

Figura 1 Cuba electrolítica	13
Figura 2 Electrodeposición	14
Figura 3 Baño electrolítico	16
Figura 4 Aplicaciones de la electrodeposición del cobre	20
Figura 5 Aplicaciones de la electrodeposición del cobre	21
Figura 6 Aplicaciones de la electrodeposición del cobre	22
Figura 7 Elemento a recibir la electrodeposición del cobre	26
Figura 8 Aplicación del electrolito	27
Figura 9 Fuente de alimentación y conexión.....	28
Figura 10 Antes del revestimiento	28
Figura 11 Después del revestimiento	29
Figura 12 Materiales implementados en el electrolito de vinagre.....	31
Figura 13 Preparación de la fórmula	32
Figura 14 Base de ácido sulfúrico	33
Figura 15 Comprobación de voltaje en la fuente	34
Figura 16 Resultado de la aplicación del voltaje adecuado.....	34

Índice de Tablas

Tabla 1	Comparación de Proceso.....	31
----------------	-----------------------------	----

Índice de Fórmulas

Fórmula 1 Ecuación de la segunda Ley de Faraday	19
Fórmula 2 Cálculo del volumen de cobre a depositar.....	23
Fórmula 3 Cálculo de la masa de cobre.....	24
Fórmula 4 Cálculo de la carga eléctrica requerida	24
Fórmula 5 Selección de corriente para el proceso	24
Fórmula 6 Cálculo de tiempo de electrodeposición	24

Resumen

El proceso de electrodeposición de cobre se lleva a cabo por medio de un baño electrolítico para piezas metálicas utilizadas en el área automotriz, el baño ayuda a aumentar las propiedades de los metales como resistencia a la corrosión, degradación por factores ambientales etc. Algunos materiales utilizados en herramientas están expuestos a temperaturas cambiantes ya sea por el área o lugar donde se utilizan, esto le lleva a tener desgaste acelerado. Las propiedades del cobre se destacan por tener alta conductividad eléctrica, térmica, se adhiere de forma rápida y es resistente a la corrosión, es uno de los materiales muy utilizados en diferentes procesos los cuales ayudan a brindar una vida más prolongada, esto califica a este metal para aplicarlo en herramientas que son de uso diario. La electrodeposición es un método que, por medio de mezclas homogéneas de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, se la controla por medio de corriente proporcionando el voltaje de acuerdo con la necesidad, este proceso forma un recubrimiento de cobre el cual forma una capa capaz de resistir la corrosión y oxidación, se fundamenta de manera teórica con principios electroquímicos.

Palabras Clave: Electrodeposición, electrolítico, electroquímicos.

Abstract

The copper electrodeposition process is carried out using an electrolytic bath for metal parts used in the automotive industry. The bath helps enhance the metal's properties, such as resistance to corrosion and degradation from environmental factors. Some materials used in tools are exposed to fluctuating temperatures due to the area or location where they are used, leading to accelerated wear. Copper's properties are notable for its high electrical and thermal conductivity, rapid adhesion, and corrosion resistance. It is a widely used material in various processes that help extend the lifespan of tools, making it suitable for everyday use. Electrodeposition is a method that uses homogeneous mixtures of copper sulfate and sulfuric acid, controlled by an electric current with the appropriate voltage. This process forms a copper coating that creates a layer capable of resisting corrosion and oxidation. The process is theoretically based on electrochemical principles.

Keywords: Electrodeposition, electrolytic, electrochemical.

Introducción

En la actualidad el área automotriz ha tenido una acogida extraordinaria ya que cada día es necesario hacer uso de un vehículo ya no es tanto de comodidad, sino de necesidad utilizar uno de ellos, esto hace que muchos más técnicos, tecnólogos e ingenieros se embarquen a brindar el servicio de mantenimiento y reparación de los vehículos automotores que circulan en la ciudad e incluso en todo el país.

Todos los clientes requieren de un buen servicio por parte del personal capacitado para ello no se puede realizar un trabajo si no hay herramientas necesarias y en buen estado es la razón por la que el enfoque de este proyecto es revestir las herramientas metálicas dando un recubrimiento de manera uniforme protegiéndolas de sulfato, oxido, corrosión etcétera lo que hace que su vida útil se reduzca de forma acelerada.

Por otra parte, el hecho de que las herramientas de trabajo se desgasten o dañen traen gastos innecesarios lo que trae repercusiones tanto a la utilidad del taller como al cliente que se le realiza el trabajo, el tratamiento aplicado tiene como fin cumplir con estas expectativas, realizando un proceso electroquímico llamado electrodeposición, donde se sumerge la herramienta a un compuesto electrolito se aplica voltaje y amperaje controlado por un periodo de tiempo.

Como respuesta a todas esas necesidades antes mencionadas surge este proyecto de graduación evaluando la viabilidad técnica en el desarrollo de la electrodeposición de cobre por medio de una sumersión electrolítica en una cuba, una de las cosas favorables es que para este proceso no se necesita invertir gran cantidad de dinero.

Se planteó el problema con el fin de demostrar por medio de diferentes pruebas basadas en cálculos, con electrolitos diferentes determinando si es posible o no realizar el revestimiento de cobre por medio de la electrodeposición, de forma básica experimental sin recurrir a equipos industriales.

Mediante el estudio diligente de tesis, libros y artículos, considerando los procesos y realizando diferentes pruebas se pudo dar solución favorable logrando un revestimiento uniforme con buena adherencia a una llave mixta con una composición de acero.

Se considera a ver respondido se forma satisfactoria al objetivo general planteado, logrando la electrodeposición en la herramienta de uso automotriz, se logró evaluar el proceso con método comparativo dimensional. De igual manera los objetivos específicos fueron la razón del buen cumplimiento del proyecto con diferentes tipos de electrolito, voltajes y periodo de tiempo.

Para la evaluación se utilizó el método comparativo dimensional el cual permitió analizar la adherencia, el espesor del revestimiento y el acabado en la superficie de la pieza. Las respectivas pruebas dieron resultados favorables y uniforme al electrolito a base de Ácido sulfúrico lo que hace que se considere como una alternativa exitosa.

Para el desarrollo del siguiente proyecto se facilitaron diferentes vías, al principio por el desconocimiento no se lograban conseguir los materiales, pero después de una búsqueda más detallada en tiendas de químicos se logró encontrar lugares donde contaban con el ingrediente, por el lado de los materiales fue más fácil adquirirlos, el cobre y la pieza de uso automotriz se encuentra en talleres o tiendas distribuidoras.

En cuanto a la metodología aplicada para este proyecto fue enfocada en la forma experimental-aplicada, enfocada a buscar solución a un problema del área automotriz, se ha agregado una bibliografía con temas de la electrodeposición de cobre y afines, incluyendo la información para la realización del proyecto, este tipo de revestimiento electrolítico se realiza con parámetros controlados tanto eléctrico como la preparación de la solución iónica, el capítulo IV se detallan los resultados obtenidos por medio de las pruebas, V en este último capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones.

El contenido del proyecto se encuentra organizado en cinco capítulos. El Capítulo I aborda el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El Capítulo II presenta el marco teórico, en el cual se desarrollan los fundamentos conceptuales relacionados con la electrodeposición, los recubrimientos metálicos y su aplicación en el sector automotriz. El Capítulo III describe la metodología empleada, detallando el diseño metodológico y los procedimientos de análisis. El Capítulo IV expone el análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas.

Capítulo I

Problema de la investigación

1.1. Tema de investigación

Aplicación del proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz.

1.2. Planteamiento, formulación y sistematización del problema

El sector automotriz en la actualidad presenta una demanda constante de métodos o técnicas que ayuden a garantizar y prolongar la vida útil de los componentes, elementos, herramientas y otros componentes metálicos para garantizar un desempeño óptimo en condiciones de trabajo muy severas.

Para alcanzar este propósito se puede emplear métodos con el fin de mejorar las propiedades superficiales de los elementos metálicos como por ejemplo la electrodeposición, que es un método en el cual se agrega o recubre un material base con una capa metálica por medio de un proceso electrolítico.

De forma particular se puede utilizar el cobre para realizar el recubrimiento debido a que ofrece varios beneficios como una excelente conductividad eléctrica, excelente firmeza ante la corrosión y facilidad de adherencia en elementos metálicos, por esas características se lo puede aplicar en elementos, piezas y herramientas de uso automotriz, para aumentar su funcionalidad.

Por los motivos antes expuestos el estudio y la aplicación del proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz se presenta como una alternativa técnica real y sostenible para contribuir en la innovación en procesos de protección ante la corrosión y en la optimización de recursos en talleres automotrices.

1.2.1. Planteamiento del problema

Es importante resaltar que la pieza metálica de uso automotriz ya sean como elementos, componentes o herramientas siempre estarán expuestas de forma frecuente a factores como la fricción, contacto con agentes químicos que pueden ser destructivos,

contacto con el agua, situación que ocasionan desgaste y disminución del rendimiento y la vida útil. Por este motivo se crea la necesidad de aplicar métodos que permitan la protección de estos elementos y prolongar la vida útil de la pieza metálica.

Existen procesos que se aplican de forma regular y frecuente que en algunos casos pueden ser efectivos no siempre se logra el objetivo de alcanzar una protección adecuada para que la adherencia sea de manera uniforme, y se debe repetir el proceso de forma frecuente o simplemente se desechan los elementos contaminados.

Debido a lo expuesto se plantea aplicar el método de la electrodeposición de cobre como una técnica válida, empleada en la protección de piezas metálicas por medio del baño electrolítico, debido a que permite alcanzar recubrimientos más homogéneos, y a su vez garantiza mayor oposición a los aspectos del moho y la corrosión, siendo una alternativa de eficiencia práctica para ser aplicada en la industria del sector automotriz.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cómo se puede aplicar el proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en piezas de uso automotriz?

1.3. Sistematización del problema

¿Se podrá aplicar el sistema de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en piezas de uso automotriz?

¿Se podrá recopilar información acerca de proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz?

¿Cómo se puede realizar la evaluación de los procesos en la aplicación de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en piezas de uso automotriz?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Aplicar el proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Puntualizar información relacionada al proceso electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz.
- Realizar el proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza metálica de uso automotriz.
- Analizar los resultados de aplicación del proceso electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en piezas metálicas de uso automotriz.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

La investigación propuesta se centra de manera especial en alcanzar el recubrimiento de por medio del proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en piezas metálicas de uso automotriz; partiendo desde la revisión de la literatura relacionada al tema planteado y de los objetivos establecidos, de este modo se puede identificar las posibles aportaciones que van desde la metodología aplicada hasta el tema práctico, por ello se la detalla de la siguiente forma:

1.5.1. Justificación teórica

Al aplicar la electrodeposición de cobre por medio de baño electrolítico se está construyendo un proceso básico que se relacionan con la industria del sector automotriz, esto debido a que la necesidad de mantener a los componentes con sus propiedades físicas inalterables, así como sus propiedades mecánicas eléctricas y estéticas y por este motivo requieren un recubrimiento muy avanzado; de acuerdo con lo estipulado por (Schlesinger & Paunovic, 2010), resaltan que la “la electrodeposición de cobre se ha establecido como uno de los procesos galvánicos más importantes debido a sus excelentes propiedades de conductividad eléctrica, conductividad térmica y capacidad de nivelación superficial. En el sector automotriz, este proceso se aplica principalmente en componentes electrónicos, sistemas de frenado, elementos decorativos y piezas que requieren posterior cromado, donde el cobre actúa como capa intermedia que mejora la adherencia y uniformidad del recubrimiento final”, es decir los autores le dan el realce y la

importancia del caso para justificar la aplicación de la capa de cobre con el fin de proteger a la pieza metálica.

Se resalta la utilización del cobre como un material a utilizar para el recubrimiento en aplicaciones de tipo automotriz debido a sus propiedades fisicoquímicas muy particulares que satisfacen las múltiples necesidades y requisitos para dar la protección adecuada al metal, también se debe resaltar lo expuesto por (Kanani, 2014), donde menciona que “el cobre depositado electrolíticamente presenta una conductividad eléctrica del orden de 5.8×10^7 S/m, lo que lo convierte en el segundo mejor conductor después de la plata, siendo esta característica crucial para componentes del sistema eléctrico vehicular. Además, la capacidad del cobre para rellenar micro cavidades y proporcionar superficies uniformes resulta esencial en la preparación de sustratos previo a recubrimientos decorativos, función especialmente valorada en herrajes, molduras y elementos cromados que requieren acabados estéticos de alta calidad”, en este manifiesto el autor destaca la capacidad del cobre para ser utilizado en lugares donde se requiere rellenar porosidades del metal y esto conlleva a mejorar la protección contra el óxido y la posterior corrosión de los metales.

La electrodeposición de cobre toma como fundamento el principio electroquímico donde se produce la reducción catódica de iones cúpricos (Cu^{2+}), por lo que se genera un depósito de tipo metálico que se adhiere en el material a proteger, es por eso que se resalta lo expuesto por (Dini, 2023), donde menciona que “los baños electrolíticos de cobre se clasifican principalmente en baños ácidos que utilizan el sulfato de cobre y baños alcalinos donde se aplica el cianuro de cobre, siendo los primeros los más utilizados en la industria automotriz por su mayor velocidad de deposición, menor costo y menor toxicidad”; en este manifiesto el autor resalta la importancia de la utilización del cobre debido a que se puede mejorar las características de tipo microestructural en el material metálico a ser protegido.

En el sector automotriz de forma específica la electrodeposición de cobre para la protección de chapas metálicas se debe afrontar a diversos temas muy singulares sobre

todo a lo relacionado con la geometría y forma de los elementos a proteger, debido a que por su ubicación en el vehículo se enfrentan condiciones de trabajo y ambientales muy severas; también se debe hacer relevancia en que la pieza de uso automotriz necesita mayor protección y se logrará mejorar sus propiedades por medio de la adherencia excepcional y estabilidad térmica, propiedades que se logran mediante el control microestructural del depósito y tratamientos posteriores como el recocido o la aplicación de capas protectoras adicionales.

1.5.2. Justificación metodológica

La metodología aplicada en el proceso de la electrodeposición de cobre por medio del baño electrolítico para ser aplicado en piezas metálicas automotrices se justifica por la aplicar el control preciso y adecuado al momento del recubrimiento; esto permite realizar ajustes adecuados para el recubrimiento y de este modo alcanzar parámetros adecuados en el acabado final del producto; este enfoque metodológico se centra en todos los pasos que van desde la inicial que es la preparación superficial del sustrato, la inmersión en el baño de tipo electrolítico y los componentes químicos de forma controlada, control de la corriente eléctrica adecuada, la densidad y la temperatura, para luego pasar a los cuidados de la post-deposición como por ejemplo el lavado y el secado de forma adecuada, al aplicar esta secuencia se logrará alcanzar un recubrimiento óptimo del proceso mediante diseño experimental y análisis de resultados.

Al seleccionar la metodología para la aplicación del galvanizado por el medio electrolítico comparado con otros métodos para realizar el recubrimiento metálico se fundamenta en ventajas de tipo técnicas y de economía, esto frente a otros métodos de la deposición química, por ejemplo la pulverización de tipo térmica y también la deposición de tipo física de vapor, la deposición de electrodeposición permite realizar un control adecuado del espesor de la capa a ser aplicada, esta puede ir desde las fracciones de micrómetro hasta varios micrómetros, esto garantiza una adherencia de tipo metalúrgica excepcional, esto da posibilidad que el recubrimiento sea más productivo, además se destaca que la deposición sobre figuras complejas se logrará con la distribución de corriente adecuada.

Por otro lado, la metodología para el control de calidad se puede realizar por medio de técnicas de caracterización que pueden ser verificadas aplicando normas industriales aplicables en la industria del sector automotriz.

1.5.3. Justificación práctica

Para realizar la justificación de tipo práctica de la aplicación del proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico, se debe destacar es una técnica que se aplica para la protección de piezas y elementos ganando terreno por su optimización en prolongación de la vida útil de estos elementos. También se resalta que un método alternativo que se puede convertir en elemento esencial en la economía de talleres al reducir daños de las herramientas de uso automotriz.

Al ejecutar el presente proyecto se espera provocar la implementación de nuevas técnicas que toman como base el recubrimiento de piezas metálicas de uso automotriz para su protección, por este motivo se aplicará el evento electrolítico para alcanzar el recubrimiento de cobre deseado, se espera que los resultados generen un impacto social positivo, iniciando en lo local, siguiendo por lo regional y finalizando en lo nacional, contribuyendo además una posible fuente de ingreso que ayude a generar empleo y reactivación de la matriz productiva.

1.5.4. Delimitación temporal

En la planificación señalada se proyecta a que el desarrollo de proyecto se realice aplicando el proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico, tanto en la fase de aprobación, desarrollo teórico y práctico se realizaría desde octubre de 2025 y de manera tentativa se pretende que su finalización o defensa de proyecto se llevará a cabo hasta febrero de 2026.

1.5.5. Delimitación geográfica

El presente trabajo investigativo se lo llevará a cabo en el Establecimiento Taller Checopart's ubicado en el país de Ecuador dentro de la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, en las calles Tulcán y Clemente Ballen.

1.5.6. Delimitación del contenido

En la parte inicial se aborda lo relacionado al planteamiento del problema, la formulación y la sistematización del tema presentado, también se abarca a los objetivos planteados y se presenta la justificación del caso tomando en cuenta a las dimensiones teóricas, prácticas y la metodología aplicada, con sus respectivas limitaciones que encierran de forma exclusiva al tema presentado.

Luego se realizará el desarrollo y revisión bibliográfica y literaria, fundamentada en un marco teórico básico, aquí se muestran definiciones que son claves y admiten identificar las variables principales que están relacionadas con la aplicación del proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en piezas metálicas de uso automotriz.

Al final se presentará la metodología que se aplicará en la investigación, aplicando métodos de que permitan la ejecución directa o de campo, por lo que se aplicará un enfoque de tipo experimental, también se especifica las técnicas a emplear y la muestra de estudio, esto se respalda en un cronograma que es detallado y presupuestado para el desarrollo del presente proyecto.

1.6. Alcance

La presente investigación que se expondrá se centra en la idea de la aplicación el proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz, es decir se enfoca en determinar un método apropiado que sea consecuente y alcance a establecer la secuencia de pasos para aplicar el recubrimiento de cobre, además se podría llegar a establecer una mejora en la protección de la chapa metálica y ser protegida de posibles problemas de moho, oxidación y corrosión.

También en la parte investigativa se señala a varios estudios anteriores que se han realizados y están relacionados con la protección metálica de elementos automotrices, también se resaltaré el uso del método de la deposición de cobre por medio de electrolítico como método apropiado para la protección de metales.

Finalmente se implantará una guía sobre la implementación del proceso de aplicación de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz, además se detallará la forma y los materiales utilizados para realizar la protección del metal por medio la capa de cobre.

Capítulo II

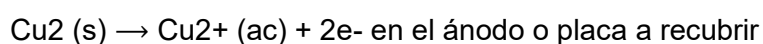
Marco de referencia

Al plantearnos el propósito de alcanzar un apropiado entendimiento presentado en el trabajo de tipo investigativo, nos vemos en la imperiosa necesidad de detallar algunos conceptos que se consideran esenciales y se detallaran en desarrollo del mismo. Los términos desarrollados darán el realce necesario y la importancia del tema en todas las secciones que conforman el estudio realizado, con esto se facilitará la analizará mejor el contenido expuesto:

2.1. La Electrodeposición en metales

El sistema de electrodeposición en metales se la utiliza para recubrir objetos aplicando una fina película de otro metal, basándose en la electrólisis, y se lo denomina así porque él se deriva de “electro” que hace referencia a la parte eléctrica y “lisis” que significa la ruptura de otro material: esto hace referencia a la reducción o a la disminución del estado de oxidación o simplemente hace referencia a la ganancia de electrones de un metal que debe estar disuelto en agua y la otra parte a la deposición del metal que se adhiere sobre la superficie conductora. (Roymaplast, 2025), para ello se requiere sulfato de cobre (CuSO_4) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) como electrolito.

La electrodeposición implica la reducción (disminución del estado de oxidación; ganancia de electrones) de un compuesto metálico disuelto en agua y una deposición del metal resultante sobre una superficie conductora; hay que resaltar la complejidad del proceso debido a un gran número de eventos que se deben llevar a cabo para alcanzar el resultado deseado, (Roymaplast, 2025). La reacción química se da de la siguiente forma:



También se menciona que en el proceso de revestimiento metálico en la superficie se debe sumergir la pieza en una solución química que contiene iones correspondientes del metal que se va a revestir, cuando se aplica un diferencial de potencial entre los cables o alambres con el cátodo de carga negativa y el ánodo de carga positiva, ambos de forma

simultánea se logra depositar en un metal el revestimiento metálico requerido para resistir la corrosión, mejorar la conductividad térmica y eléctrica, mejora el aspecto estético y ergonómico los más utilizados son los de cobre, níquel y zinc que son las más comerciales, (Bekaert., 2024)

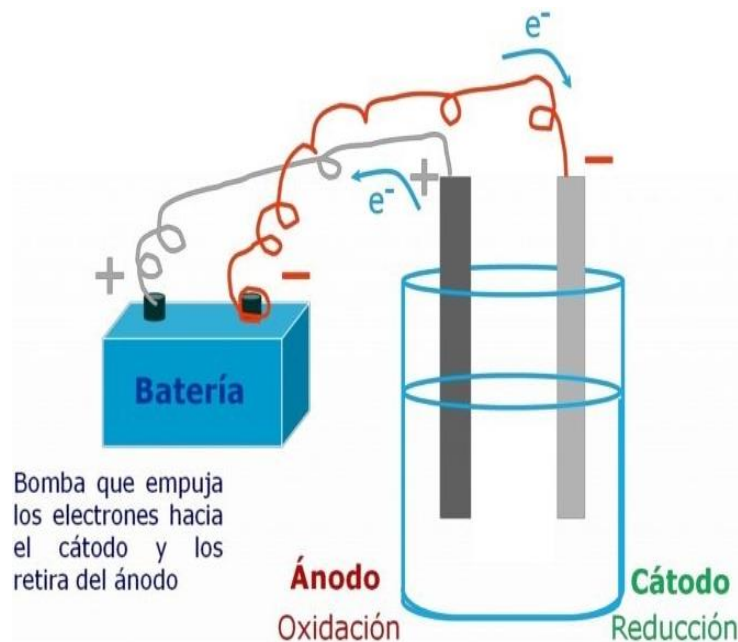
2.2. La Electroquímica en la electrodeposición de metales

Al ser la electroquímica una ciencia que se encarga del estudio del intercambio de energía química y también eléctrica que resulta de una reacción o de un óxido – reducción o conocidas como redox, se resalta que la oxidación es la pérdida de electrones y que la reducción es la ganancia de electrones.

Generalmente se lo realiza en un contenedor que se lo denomina cuba electrolítica, ver figura 1, la electrólisis es uno de los principales métodos químicos para la separación y recubrimiento de metales, este método presenta la ventaja de requerir aumento de temperatura para que se realice la reacción y de esta forma se evita perdidas de energía y reacciones no deseadas, (bekaert, 2024).

Figura 1

Cuba electrolítica



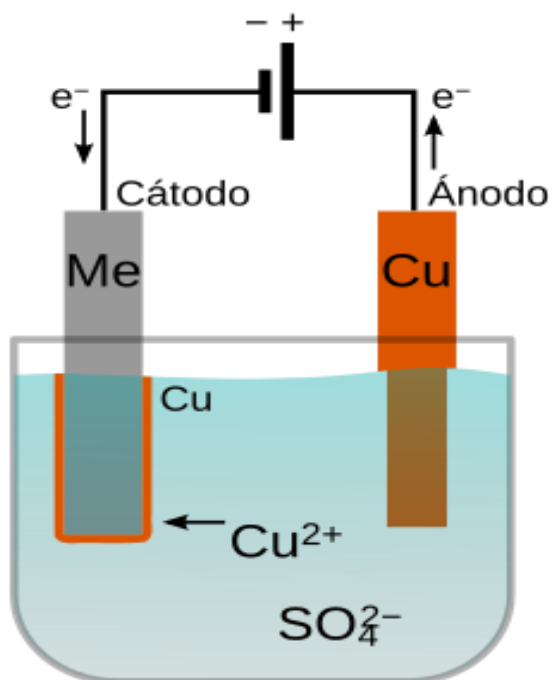
Fuente: (Fullquímica, 2024)

En la industria es uno de los procesos más utilizados en diferentes áreas partiendo de compuestos que contienen cloro, hidrógeno y oxígeno, también para realizar la purificación de metales que se disuelven en ácido para obtener por medio de la electrólisis el metal puro.

Podemos mencionar algunos términos que se utilizan en el proceso de electrodeposición, ver figura 2, por ejemplo el electrodepósito que es el depósito de tipo catódico que se obtiene por el paso de corriente eléctrica hacia una célula electrolítica; el electrodo que es el componente del circuito eléctrico que se conecta al cableado del circuito por medio conductor como un electrolito, al electrodo positivo es llamado ánodo y el electrodo negativo es llamado cátodo; también se destaca que el electrolito es la sustancia iónica en solución que se descompone al pasar la corriente eléctrica.

Figura 2

Electrodeposición



Fuente: (electroplating, 2024)

2.3. Materiales utilizados en la electrodeposición

Hay varios componentes que se utilizan en la electrodeposición y entre ellos se describen los siguientes, (Fullquímica, 2024):

- La celda o cuba electrolítica que es el depósito donde se realiza todo el proceso de la electrólisis o intercambio de material entre metales.
- El electrolito, es el elemento que posee la capacidad de descomponer o separar por medio de la corriente eléctrica, se puede realizar con los compuestos que son de tipo iónico o covalentes que al mezclarse con el electrolito se descomponen en iones que logran conducir la corriente eléctrica.
- Los electrodos son barras o placas de tipo metálica que al ser sometido al contacto con el electrolito se logra que entre en reacción debido a que están unidos a fuente eléctrica, los bordes pueden estar sometidos en elementos activos y los inertes; los activos además de conducir la corriente eléctrica y reaccionan en el proceso, sufriendo cambios sustanciales en el proceso y pueden ser el Zn, Cu, Ag y Sn; por otro lado lo de tipo inerte poseen la función de conducir la corriente eléctrica, reaccionan participando en el proceso y por lo tanto sufren cambios químicos durante el proceso y pueden ser el grafito, Pt y Pd, entre otros.
- Otro elemento es el cátodo que se encarga de llevar electrones a la solución de tipo electrolítica, aquí es donde se realiza la reducción y su carga es negativa.
- El ánodo es el electrodo que se encarga de sacar los electrones de la solución de tipo electrolítica y aquí es donde se produce la oxidación, su carga es de tipo positiva, los iones se van a dirigir desde el cátodo al ánodo y se los llaman aniones y se de carga tipo negativa.
- Por último, tenemos a la fuente de poder o de energía, generalmente se usan generadores de corriente continua como por ejemplo las baterías o pilas que se conectadas en serie, para mantener la corriente estable y no se produzcan sobrecargas al momento de realizar la electrodeposición de metálica.

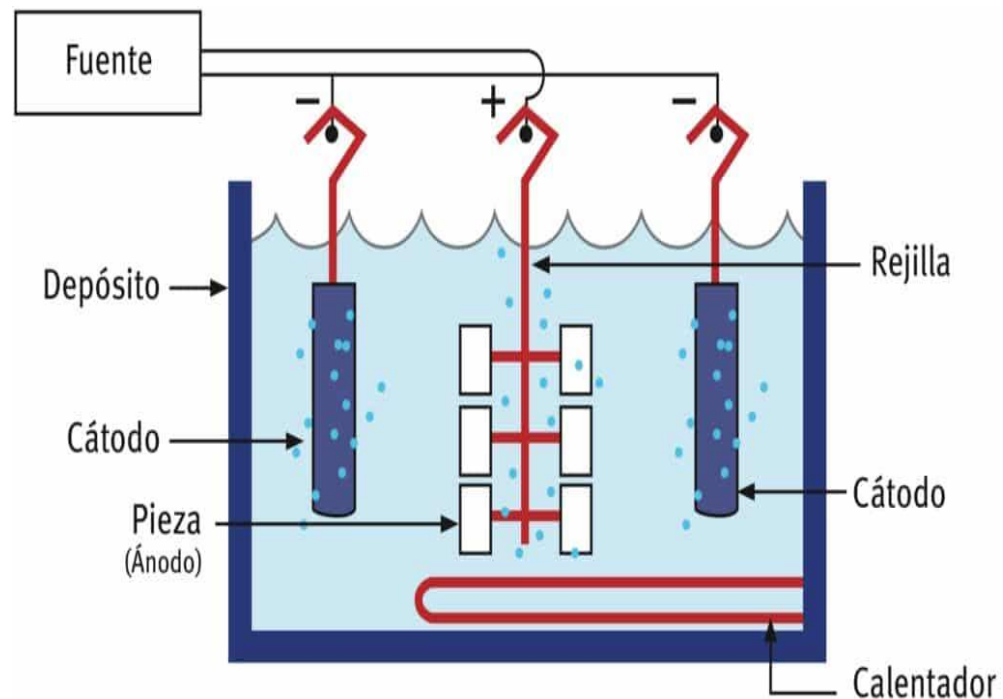
2.4. El Baño de tipo electrolítico

También se lo conoce como baño de metales por medio de la electrólisis, el mismo es un procedimiento de tipo electroquímico que se utiliza aplicando una solución electrolítica

para realizar el depósito de fina o delgada capa de metal sobre otra superficie metálica que es una varilla conductora, ver figura 3, generalmente el proceso se lo utiliza para proteger los materiales de óxido y la corrosión, también se lo utiliza para mejorar el aspecto físico y dar acabados de calidad, además al aplicarlo se puede aumentar la conductividad eléctrica de ciertos componentes, (Encrypted, 2025).

Figura 3

Baño electrolítico



Fuente: (Bericht, 2024).

2.5. Principio utilizado en el baño electrolítico

Toma como base el principio de la electrólisis, en este método se procede a la descomposición de una solución que es electrolítica para que en este medio se realice la movilización de los iones metálicos; los iones pertenecen al polo positivo al momento de migrar hacia al cátodo o la superficie recubierta y los iones negativos migran hacia el ánodo.

Para que se pueda realizar el principio de la electrólisis se debe considerar dos aspectos fundamentales que se relacionan con dos leyes físicas; la primera de ellas es lo relacionado a la ley de Faraday, donde se establece de forma exclusiva que la cantidad de material que se deposita es proporcional a la carga eléctrica que atraviesa por medio de un

electrolito; también hace referencia a la conductividad eléctrica, donde se resalta que la solución electrolítica debe posibilitar la transmisión de forma eficaz la corriente para que se garantice el recubrimiento de forma óptima sobre el metal a proteger, (Bericht, 2024).

Para realizar el baño electrolítico se debe seguir varias etapas que requieren exactitud en cada paso con la finalidad de garantizar un recubrimiento muy uniforme y de alta calidad, por ello se describen algunos pasos a seguir de forma secuencial, es importante destacar que proceso se debe tener todos los materiales indicados y tomar en cuenta las normas de seguridad necesarias para evitar cualquier inconveniente que pudiera causar daños a las personas que desarrollan en experimento, los pasos son los siguientes:

2.5.1. Preparación de la superficie antes del baño electrolítico

Para realizar el baño de tipo electrolítico debe empezar por la preparación de la superficie a ser recubierta, se debe realizar una limpieza minuciosa del material que se va a recubrir, lo cual implica que debe estar libre de cualquier tipo de impureza como polvo, agua, grasa, moho, óxido o cualquier agente contaminante, esto debido a que van a intervenir de forma negativa para alcanzar el recubrimiento adecuado al momento de la adhesión, para alcanzar una limpieza adecuada se pueden emplear técnicas como el desengrasado con productos químicos, limpieza con productos ultrasónicos, cualquier otro agente de limpieza, es importante que al final se realice en enjuague apropiado para eliminar cualquier tipo de rastro de suciedad como el agente de limpieza.

2.5.2. Preparación del electrolito para el baño de cobre

Es importante destacar que el electrolito es una sustancia química que posee iones de metálicos que son del material que se va a depositar, de forma general se compone de sales metálicas que están disueltas en agua o disueltas en una mezcla de ácidos que actúan como agentes estabilizadores, en este caso hacemos referencia al cobre y para ello se utiliza una solución de sulfato de cobre, es importante resaltar que se debe considerar la concentración del pH de la sustancia y la temperatura de electrolito con la finalidad de garantizar un recubrimiento y una reacción eficaz y uniforme para alcanzar el propósito deseado.

2.5.3. Corriente eléctrica aplicada

Cuando aplicamos la corriente eléctrica en el proceso se inicia la electrólisis, en ese momento la energía empieza a moverse los iones de tipo metálicos hacia el cátodo, para este caso es el cobre, en el proceso los iones metálicos tienden a reducirse en la superficie del material para formar un recubrimiento sólido y uniforme, es importante que el voltaje y el tiempo de exposición deben estar regulados en cuanto al voltaje se recomienda que estén entre los 1 a 2 voltios y un tiempo depende del recubrimiento y Amperaje con el cual se trabaje.

2.5.4. Enjuague y secado del producto a ser recubierto

Una vez que se ha realizado el proceso de la electrolisis, el material que ha sido recubierto se lo debe extraer de la cuba electrolítica se debe realizar un enjuague y para asegurar que se de forma apropiada se debe utilizar agua destilada o también el agua desionizada con la finalidad de eliminar sustancias o residuos químicos que pueden quedar en la pieza luego del recubrimiento, en algunos casos se pueden aplicar otros procedimientos como por ejemplo la pasivación con la finalidad de aumentar la resistencia a la corrosión, para alcanzar un mejor acabado se puede aplicar el aire caliente o las cámaras de secado para alcanzar un acabado superficial de mejor calidad, esto además asegura que el recubrimiento sea de mayor duración, mejoras estéticas y mejor funcionalidad.

2.5.5. Baño electrolítico de cobre

El baño electrolítico de cobre se resalta por su capacidad de mejorar conductividad de tipo eléctrica, se resalta que el cobre también puede actuar como una base de recubrimiento inclusive para otros metales como el oro y el níquel, debido a que genera una mejor adherencia en la superficie, además que presenta mejoras a la resistencia a desgaste mejorando la calidad de forma general del producto final, se resalta su aplicación en la industria automotriz en el recubrimiento de piezas y herramientas.

También se debe resaltar que al utilizar el cobre como recubrimiento se logra mejorar la duración, propiedades estéticas y funcionales, sin embargo se debe destacar que al

realizar el proceso se debe tener un control muy estricto para evitar problemas en el acabado final.

2.5.6. Leyes aplicadas en el baño electrolítico de cobre

Para alcanzar la electrodeposición de forma adecuada se debe aplicar algunas leyes de la física, existen algunas, pero las más utilizadas son de forma general las leyes de Faraday, específicamente la primera y la segunda.

2.5.7. Primera ley de Faraday

Menciona que la masa de una sustancia se altera por medio de un electrodo durante el proceso de la electrolisis se aplica de forma directa y proporcional a la cantidad de electricidad que se transfiere a este electrodo; la cantidad de electricidad hace referencia a la cantidad de carga eléctrica, que en general se mide en culombios.

2.5.8. Segunda ley de Faraday

Describe que, para una determinada cantidad de electricidad o carga eléctrica, la masa de un material es alterada por un electrodo es directamente proporcional al peso equivalente del elemento; el peso equivalente de una sustancia es su masa molar dividido por un entero que depende de la reacción que tiene lugar en un material determinado, la ley se plantea de la siguiente forma como se visualiza en la fórmula 1.

Fórmula 1

Ecuación de la segunda Ley de Faraday

$$m = \frac{Q}{q} * \frac{M}{N_A} = \frac{1}{q} * \frac{QM}{N_A} = \frac{1}{F} * \frac{QM}{n} = \frac{1}{96485} * \frac{QM}{n} = \frac{I * t}{96485} * \frac{M}{n}$$

Donde:

m es la masa de la sustancia producida en el electrodo (g).

Q es la carga de la sustancia total que pasó por la solución (c).

q es la carga del electrón que es igual a 1.602×10^{-19} culombios por electrón.

n es el número de valencia de la sustancia como ion en la solución.

$F = qN_A = 96585 \text{ C.mol}^{-1}$ es la constante de Faraday.

M es la masa molar de la sustancia (g.mol).

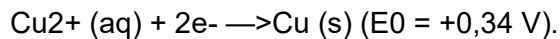
N_A es el número de Avogadro = 6.022×10^{23} iones por mol.

I es la corriente eléctrica (A).

T es el tiempo transcurrido (s).

2.5.9. Aplicaciones de la electrodeposición de cobre

La aplicación de la electrodeposición de cobre por medio de un proceso electrolítico donde se utiliza la electricidad para aplicar el cobre disuelto en la solución en la pieza metálica y se aplica la siguiente ecuación:



También debemos destacar que se lo aplica para mejorar las propiedades que poseen los metales, como por ejemplo las fisicoquímicas de un metal, su principal uso se destaca en el sector industrial, además del cobre se utiliza otros metales para el recubrimiento como por ejemplo el oro, la plata, el níquel, el aluminio, entre otros, ver figura 4.

Figura 4

Aplicaciones de la electrodeposición del cobre



Fuente: (Emew, 2024).

En la aplicación de la electrodeposición se da lugar una reacción de tipo Redox, que es donde se oxida un metal y otro se reduce, para que esto se presente se deben presentar tres elementos esenciales; los electrodos un ánodo de carga negativa y un cátodo de carga positiva; el electrolito o la sustancia acuosa, para el material cobre se aplicará el sulfato de cobre; una fuente de energía que aporte la corriente necesaria para que se genere la electrólisis, ver figura 5.

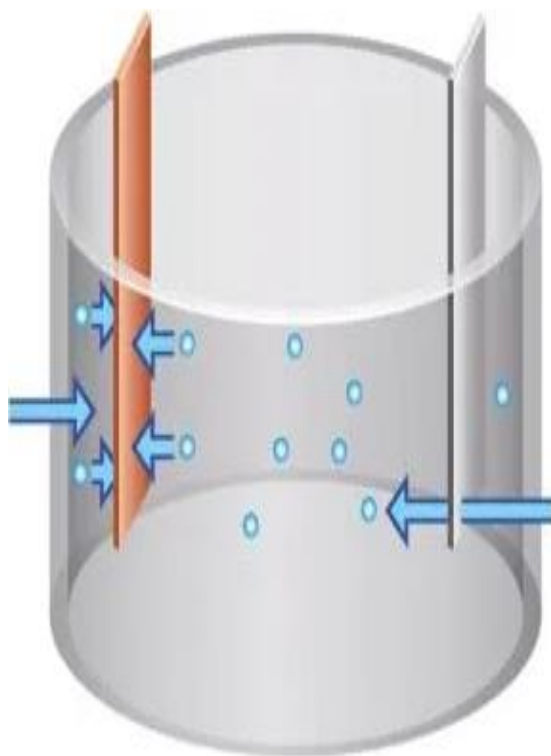
Al hacer que la electricidad pase por el electrolito los iones de tipo metálico que posee el ánodo se desprenden en la solución de tipo acuosa y logran reducirse, luego de esto se precipitan y se depositan en forma de película para proteger la pieza metálica, ver figura 7, (Alsimet, 2024).

2.5.10. Ventajas de la electrodeposición de cobre

Se destacan algunas ventajas que se tienen al aplicar la electrodeposición de cobre entre otras tenemos las siguientes, (Alsimet, 2024).

Figura 5

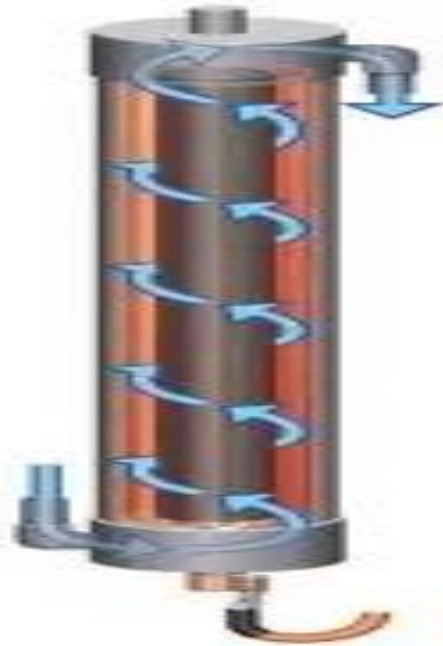
Aplicaciones de la electrodeposición del cobre



Fuente: (Emew, 2024).

Figura 6

Aplicaciones de la electrodeposición del cobre



Fuente: (Emew, 2024).

- Aumenta la resistencia frente a la corrosión, ya que la capa de cobre funciona como un aislante.
- Mejora la conductividad eléctrica (el paso de la electricidad a través de él), lo que es sinónimo de calidad en el proceso de producción.
- Confiere una mayor resistencia al desgaste, rigidez y dureza a la pieza galvanizada.
- En algunos casos puede mejorar la resistencia y la conductividad térmica, en función de la capacidad calorífica.
- La versatilidad del cobre lo convierte en un material ideal para fabricar diferentes productos puros o aleaciones, como el bronce o el latón. Además, su uso es apto tanto para la construcción sostenible como para la refrigeración industrial o la agricultura.

Capítulo III

Metodología

3.1 Propósito del capítulo

En este capítulo se describe de forma ordenada la metodología que se aplicó en el proyecto de Aplicación del proceso de electrodeposición de cobre mediante baño electrolítico en pieza de uso automotriz.

Se determino el espesor para el recubrimiento aplicando cálculos haciendo uso de la ley de Faraday. Se complementó con un método de verificación llamado comparativo dimensional, el cual consiste en tomar medidas con un micrómetro antes y después de recubrir la chapa, debido al costo elevado que tienen los equipos de medición no fue posible utilizar otro método.

- Mediante cálculos teóricos basados en la Ley de Faraday.
- Método comparativo dimensional.

3.1.1. Normas y Cálculos Utilizados

ASTM B734 o MIL-C-14550

Cálculos teóricos basados en la Ley de Faraday:

Datos:

Area superficial = 35 cm²

Espesor requerido = 10 micras = 10 μm = 0,001 cm

Fórmula 2

Cálculo del volumen de cobre a depositar

$$V = A * e$$

$$V = 35cm^2 * 0,001cm$$

$$V = 0,035cm^3$$

Cálculo de la masa de cobre:

Datos:

Densidad del cobre = 8,96 kg/m³

Volumen del cobre = $0,035 \text{ cm}^3$

Fórmula 3

Cálculo de la masa de cobre

$$m = V * \rho$$

$$m = 8,96 * 0,035$$

$$m = 0,314 \text{ g de Cu}$$

Cálculo de carga eléctrica requerida:

Datos:

Numero de valencia $\text{Cu}^{3+} \rightarrow n = 2$

Masa molar Cu: 63,5 g/mol

Constante de Faraday: 96500 C/mol

Fórmula 4

Cálculo de carga eléctrica requerida

$$Q = \frac{m * n * F}{M}$$

$$Q = \frac{0,314 * 2 * 96500}{63,55}$$

$$Q = 952 \text{ C}$$

Fórmula 5

Selección de corriente para el proceso

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$I = \frac{952}{19040}$$

$$I = 0,05 \text{ A}$$

Fórmula 6

Cálculo de tiempo de electrodeposición

$$t = \frac{Q}{I}$$

$$t = \frac{952}{0,05}$$

$$t = 19040 \text{ s}$$

$$t = \frac{19040}{3600}$$

$$t = 5,3 \text{ horas}$$

Se detalla el diseño metodológico, la aplicación de procesos, se evalúa viabilidad técnica de la forma en que se llevaron los procesos, se obtienen los análisis y resultados del recubrimiento de la herramienta a la que se le realizó el revestimiento.

Algo de mucha importancia es que cuando se detalla una metodología garantiza la repetición teniendo los mismos resultados y cumpliendo con los objetivos que se plantean.

3.2 Diseño metodológico

La siguiente investigación es desarrollada bajo un enfoque aplicado, al buscar darle solución a este problema el cual es práctico del sector automotriz se busca proteger de forma superficial para mejorar la durabilidad de una herramienta automotriz.

La investigación es de forma práctica y experimental, llevando a cabo un proceso de electrodeposición lo que es la concentración del electrolito, voltaje, tiempo y preparación superficial, lo que permite visualizar el recubrimiento de cobre en una pieza.

El diseño metodológico contempla las siguientes fases:

- Revisión bibliográfica sobre procesos de electrodeposición y aplicaciones automotrices.
- Preparación del electrolito y acondicionamiento de la pieza metálica.
- Aplicación del proceso de electrodeposición de cobre bajo condiciones controladas.
- Evaluación de los resultados mediante análisis técnicos y comparativos.

Se emplearon las técnicas de recolección de información como observación directa, se realizó un registro de procesos con parámetro y se evaluó visualmente y de manera dimensional el recubrimiento de cobre, entre los instrumentos que se utilizaron se

encuentran: multímetro, fuente de alimentación regulable, micrómetro y cronometro con el fin de contabilizar el tiempo.

3.3 Procedimientos de análisis de la electrodeposición de cobre

En esta parte se evaluó el proceso y la forma de comportamiento junto con la calidad del acabado al momento de realizar el recubrimiento por medio de la electrodeposición en la herramienta de uso automotriz, para tener información más precisa se realizaron tres pruebas descritas a continuación:

3.3.1 Primer análisis: Preparación de la superficie y el electrolito

Uno de los procesos de gran importancia para realizar el recubrimiento es llevar a cabo una buena limpieza y preparación de la pieza o herramienta a revestir por medio de la electrodeposición, es por ello que los elementos a ser recubiertos de cobre se sometieron a un proceso de desengrase y limpieza para eliminar la grasa y otro tipo de suciedad que pueda afectar la adherencia del cobre.

De la misma manera también se evaluó la forma ideal de preparación del baño electrolítico tomando en cuenta la cantidad de sulfato de cobre, ácido acético (vinagre) y agua destilada, en esta prueba se verifico la estabilidad del electrolito y su idoneidad para el proceso de recubrimiento, ver figura 7.

Figura 7

Elemento a recibir la electrodeposición del cobre



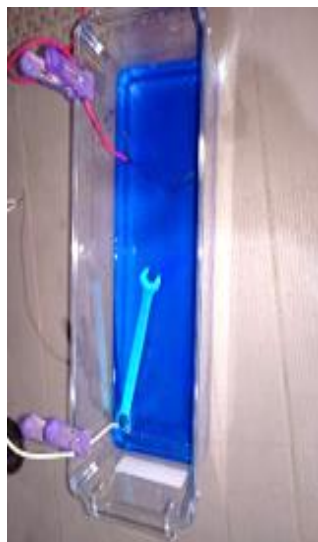
3.3.2 Segundo análisis: Parámetros eléctricos del proceso

La segunda prueba fue centrada a estudiar los parámetros eléctricos que se utilizaron durante la electrodeposición, tales como intensidad, voltaje y tiempo de aplicación. Se controlaron todas las pruebas variando estos parámetros lo que llevo a observar su efecto y uniformidad, en el recubrimiento se apreció el espesor y adherencia del cobre.

Se registraron y compararon los resultados obtenidos lo que permitió identificar las mejores condiciones esto llevo a lograr resultados homogéneos en el recubrimiento de la pieza, ver figura 8, también se utilizó una fuente de alimentación para energizar el circuito y poder realizar el recubrimiento de cobre.

Figura 8

Aplicación del electrolito



3.3.3 Tercer análisis: Evaluación del recubrimiento

En esta tercera prueba se logró analizar el recubrimiento de cobre aplicado a la pieza. Para esto se realizó una inspección visual y se determinó la uniformidad del depósito, los defectos obtenidos y el acabado superficial, se midió con un micrómetro la película depositada comparando con los datos del cálculo. Como parte adicional, se tomó en cuenta la resistencia del recubrimiento al momento de su uso y contacto utilizándose en ambientes húmedo y con temperaturas diversas en áreas automotrices.

Con este análisis se estableció la viabilidad técnica de la electrodeposición de cobre la cual se puede establecer como una forma alterna de darle un recubrimiento a chapas piezas o herramientas de uso no solo automotriz lo que permite mejorar la superficie y así lograr prolongar la vida útil de la misma, también se considera como base para las conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

No solo se pudo comprobar que fue el proceso más idóneo para el proyecto, sino que también una vez más se afirma que la ingeniería es mucho más que pruebas empíricas, se pudo afirmar que mediante los cálculos aplicados se tienen resultados con precisión.

Figura 9

Fuente de alimentación y conexión



Figura 10

Antes del revestimiento



Figura 11

Después del revestimiento



Capítulo IV

Análisis de resultados

En este capítulo se realizará el análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la electrodeposición de cobre una herramienta utilizada en el área automotriz siendo más específico una llave mixta, la misma que su fabricación esta realizada de acero. Este análisis tiene como enfoque la evaluación del procedimiento bajo proceso con diferentes condiciones experimentales, también se consideró los parámetros eléctricos, diferentes compuestos para el electrolito y acabado superficial de cobre final.

Como se realizaron algunas pruebas experimentales se utilizaron distintos voltajes y amperajes diferentes de la misma manera el electrolito se configuro de muchas formas, gracias a las diferentes formas y pruebas se encontró una condición optima la que trajo como resultado mayor adherencia y uniformidad en el recubrimiento. Estos datos se han representado de forma ordenada para tener un mejor entendimiento e interpretación técnica.

4.1 Análisis de datos obtenidos utilizando electrolito a base de vinagre

Como se realizaron algunas pruebas experimentales se utilizaron distintos voltajes y amperajes diferentes de la misma manera el electrolito se configuro de muchas formas, gracias a las diferentes pruebas se encontró una condición optima confirmando los cálculos realizados anteriormente lo que trajo como resultado mayor adherencia y uniformidad en el recubrimiento. Estos datos se han representado de forma ordenada para tener un mejor entendimiento e interpretación técnica.

En la tabla número 1 se detalla el tipo de electrolito utilizado, el voltaje aplicado, tiempo que se tomó para llevar la prueba y los resultados logrados, se puede apreciar que las diferentes pruebas que se llevaron a cabo con el mismo voltaje y tiempo dieron resultados diferentes, a pesar que el electrolito que es a base de vinagre puede aportar propiedades y buena conductividad no logra que la capa superficial se unifique con la chapa, mientras que el electrolito a base de ácido sulfúrico logra que se adhiera de manera correcta el revestimiento.

Tabla 1*Comparación de Proceso*

Prueba	Tipo de electrolito	Voltaje (V)	Fuente de energía	de Tiempo (horas)	Resultado del recubrimiento
1	Vinagre + CuSO ₄ + H ₂ O dest. + sal	1,5	Regulable	5,3	No uniforme / sin adherencia
2	Ácido sulfúrico + CuSO ₄ + H ₂ O dest.	1,5	Regulable	5,3	Uniforme / buena adherencia

Nota. Esta tabla podemos apreciar los diferentes procesos y resultados del Recubrimiento.

En las pruebas realizadas con vinagre como compuesto principal para el electrolito más sulfato de cobre, agua destilada y sal, ver figura 12, seguido en la figura 13 se presenta la mezcla realizada para la inmersión del elemento a ser recubierto. En la gráfica se muestra el comportamiento inestable de la electrodeposición observándose que está de forma irregular la adherencia del cobre en la superficie de la pieza.

Figura 12*Materiales implementados en el electrolito de vinagre*

Figura 13

Preparación de la fórmula



Se aprecia que el electrolito es inestable y no permite la conducción de iones de cobre por lo tanto la formación del recubrimiento fue incorrecta y no se adherido a la pieza.

La baja conductividad eléctrica del vinagre hace que no haya una buena solución electrolítica estable en especial en tiempos prolongados. No resulto favorable por lo tanto se descartó la posibilidad del uso de este electrolito ya que no cumplió con los requerimientos técnicos.

4.2 Análisis de resultados obtenidos aplicando electrolito a base de ácido sulfúrico

Como segunda parte se empleó un electrolito con base de ácido sulfúrico, agua destilada y sulfato de cobre, para esta prueba se preparó un litro considerando las indicaciones establecidas, en las ilustraciones se muestra la forma de como quedo el electrolito en la cuba, ver figura 14.

Se determino con los análisis previamente realizados que el electrolito que se compone con ácido sulfúrico cuenta con una buena conductividad lo que ayuda en el transporte de los iones y como resultado es la uniformidad y adherencia a la pieza, el recubrimiento obtenido fue de forma delgada y acabado homogéneo, demostrando efectividad.

Figura 14

Base de ácido sulfúrico



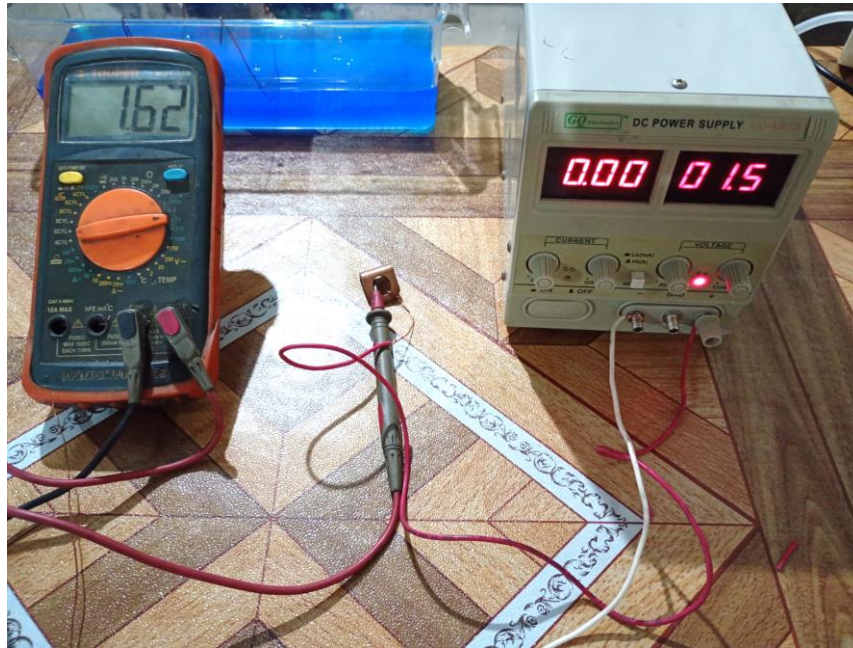
4.3 Análisis de resultados obtenidos aplicando 1.5 voltios

En esta última prueba se describen los resultados obtenidos con la fuente de alimentación regulable, se hizo uso por un periodo de 5.3 horas continuas lo que permitió que el proceso de electrodeposición sea más eficiente con el bajo voltaje y amperaje proporcionado por la fuente, con esta tensión se redujeron los errores en el acabado final.

En todo este tiempo se buscó formas para obtener un acabado superficial uniforme la fuente de alimentación ayudo a tener diverso voltaje y amperaje, ver figura 15, lo que fue más que suficiente ara un buen recubrimiento, obviamente no se pueden dejar a lado la buena limpieza, preparación con una lija 600 para que la superficie quede totalmente liza, con esta prueba se asegura que este proceso es confiable y que con pocos recursos se puede obtener buenos resultados en la electrodeposición para un recubrimiento de cobre, ver figura 16.

Figura 15

Comprobación de voltaje en la fuente

**Figura 16**

Resultado de la aplicación de voltaje adecuado



Conclusiones

Mediante las pruebas realizadas bajo los debidos procesos se llegó a la conclusión de que al aplicar la proporción adecuada tanto de los ingredientes para el líquido electrolítico como el voltaje y el amperaje sumado el tiempo se logra un revestimiento ideal.

Al momento de la aplicación usando el baño preparado mediante la electrodeposición se determinó que si es posible lograr una adherencia ideal tal como se logró revestir correctamente una llave mixta, para uso automotriz.

Los resultados obtenidos fueron una clara muestra que solo en la aplicación correcta se logra un acabado uniforme logrando el prolongamiento de esta herramienta en su uso robusto y diferentes condiciones.

Recomendaciones

La electrodeposición es muy utilizada en diferentes áreas, pero se requiere de concentración y protección al momento de manipular los ingredientes en la preparación y la aplicación.

Es de gran importancia para lograr un buen resultado la limpieza de la superficie de la chapa o pieza a recubrir, sin una limpieza y desengrase cauteloso no será posible la adherencia del revestimiento.

Se recomienda luego de sacar por completo la pieza dar una mano de lija de dos formas con grano 600 y luego con grano 800, esto ayudara a mostrar el brillo del cobre sin malograr el revestimiento aplicado.

Bibliografía

- Acdelco. (2023). *Cables de Bujías*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.acdelco.mx
- Actualidadmotor. (2022). <https://www.actualidadmotor.com/cables-de-bujias/>
- AutoAvance. (2022). <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/105-distribuidor-de-encendido/>
- AutoPlanet.pe. (2023). *AutoPlanet.pe*. AutoPlanet.pe: <https://autoplanet.pe/blog/para-que-sirven-los-cables-de-bujia-en-un-auto/>
- Autosoporte. (2023). *Baterías Automotrices*. <https://autosoporte.com/analisis-tecnico-del-uso-del-osciloscopio-automotriz/>
- Bateriasecuador. (2024). *Baterías Automotrices*. <https://bateriasecuador.com/producto/f65/>
- Bosch. (2024). <https://www.boschaftermarket.com/es/es/equipos-y-diagnosis/analisis/analisis>
- Boschecuador. (2023). <https://www.boschecuador.com/shop/producto?id=2186>
- Buscadordetalleres. (2023). <https://buscadordetalleres.com/blog/tipos-de-bujias-fabricadas-p>
- Bwdbrand. (2023). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bwdbrand.com/media/3
- Cam2. (2022). *Sistema de Alimentación de Combustible*. <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>
- Cañada, M., & Royo, R. (2016). *Termografía Infrarroja. Nivel II*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Cise. (2023). <https://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/846-bobinas-cop-multichispa.html>
- Coluccio, E. (16 de Julio de 2023). *Concepto*. <https://concepto.de/transferencia-de-calor/como-funciona>. (2023). como-funciona: <https://como-funciona.co/el-encendido-del-motor-sistema/>
- CONAUTO. (2023): <https://www.conauto.com.ec/index.php/launch-scanner-x-431-pro-v-5->
- Finaltest. (2024). <https://www.finaltest.com.mx/product-p/art-9.htm>

- Fullmecnica*. (2023). <https://www.fullmecnica.com/definiciones/i/1490-mecnica-automotriz-gasolina-el-sistema-de-combustible>
- helloauto. (2024). <https://helloauto.com/glosario/encendido-dis>
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Pearson Prentice Hall.
- Inyeccionelectronicamotores. (2023). <https://inyeccionelectronicamotores.blogspot.com/202>
- Motorgiga. (2024). <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/distribuidor-de-encendido-definicion-significado/gmx-niv15-con193887.htm>
- Motorpasión. (2019). <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>
- motoryracing. (2024). <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/el-carburador-su-historia-partes-funcion-y-mantenimiento/>
- Over-blog. (2023). <http://sebastiandeargentina.over-blog.com/article-que-osciloscopio-analogico-85905406.html>
- Pérez. (2019). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Paraninfo.
- Perfectprime. (2023). <https://perfectprime.com/>
- Petrolheadgarage. (2022). <https://petrolheadgarage.com/cursos-automocion/injector-gasolina/>
- Prodwaregroup. (2023). <https://blog.prodwaregroup.com/es/perfiles/niveles-mantenimiento-pasar-postura-reactiva-proactiva/>
- Pruebaderuta. (2023). <https://www.pruebaderuta.com/las-bujias.php>
- rentingfinders. (2023): <https://rentingfinders.com/glosario/bobina-encendido/>
- RO-DES. (2023). *baterías de Uso Automotriz*. <https://www.ro-des.com/mecanica/delco-o-distribuidor-coche-que-es-y-como-funciona/>
- Rondón, N., torres, O., Niño, E., Eduardo, M., & Johan, R. (2018). *Manual de Reparación de Autompoviles* .
- Sanchez. (2019). *Sistemas Auxiliares del Motor*. MacMillan.

SKF. (2020). *SKF*. SKF: <https://skf-la.com/conoce-los-fundamentos-de-la-termografia-infrarroja-y-mas-con-el-curso-de-skf/>

Standardbrand. (2023). <https://www.standardbrand.com/es/products/fuel-injection/fuel-injectors/fuel-injectors>

Talleres, B. (2022). *Buscando Talleres*. Buscando Talleres: <https://buscadordetalleres.com/blog/diferentes-tipos-de-sistemas-de-refrigeracion/>

Zerna, G., & Zumba, X. (2019). *Gases Producidos por los Motores de Combustión Interna*. <http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422019000200115&script=s>