



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Powered by Arizona State University

FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Análisis comparativo de métodos para la restauración y
desoxidación de componentes automotrices.**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Contreras Tzacan, José Luis

Tutor: Ramos Rivero, Virgilio Lucas

GUAYAQUIL

2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Virgilio Lucas Ramos Rivero, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Análisis Comparativo de Métodos para la reducción y Desoxidación de Componentes Automotrices 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.

Virgilio Lucas Ramos Rivero

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, José Luis Contreras Tzacan 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: José Luis Contreras Tzacan

C.I.: 0957478340

Dedicatoria

Doy gracias a Dios y a mi familia, quienes fueron parte de mi largo camino para lograr mi título de Ingeniero Automotriz, esforzándose día tras día para darme lo necesario para poder alcanzar mis metas.

Agradecimiento

Doy gracias a Dios y a mi familia, quienes fueron parte de mi largo camino para lograr mi título de Ingeniero Automotriz, esforzándose día tras día para darme lo necesario para poder alcanzar mis metas.

Mi gratitud se extiende a mi docente, Ramos Rivero Virgilio Lucas, por guiarme e impulsar mejoras continuas en la creación de este proyecto. A cada una de las personas que nombré, les estoy agradecido por el apoyo brindado a lo largo de mi etapa universitaria.

Índice de contenido

Carátula.....	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento	V
Índice de contenido	VI
Índice de figuras	XI
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Capítulo I.....	5
Antecedentes	5
1.1 Tema de Investigación.....	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	5
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	6
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	6
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	7
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	7
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	7
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	8
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	8
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	9
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	9
1.4.6 <i>Delimitación del contenido</i>	9

Capítulo II.....	10
Marco referencial	10
2.1.1 <i>Aplicación de la electrolisis en componentes metálicos</i>	10
2.1.2 <i>Aplicación de la electrólisis inversa en componentes metálicos</i>	11
2.1.3 <i>Propiedades de los componentes mecánicos</i>	11
2.1.4 <i>Aplicación de bicarbonato de sodio en componentes metálicos.....</i>	11
2.1.5 <i>Componentes automotrices metálicos</i>	12
2.1.6 <i>Corrosión</i>	12
2.1.7 <i>Óxido</i>	13
2.1.8 <i>Desoxidación.....</i>	14
2.1.9 <i>Restauración automotriz.....</i>	14
2.1.10 <i>Relación costo-beneficio</i>	14
2.1.11 <i>Reducción de costos operativos</i>	14
Capítulo III.....	16
Ejecución experimental.....	16
3.1 <i>Diseño y metodología</i>	16
3.2 <i>Metodología experimental de los métodos de desoxidación</i>	16
3.2.1 <i>Selección de componentes de ensayo</i>	16
3.2.2 <i>Materiales y equipos utilizados.....</i>	16
3.2.3 <i>Parámetros medidos para los métodos de desoxidación</i>	17
3.3 <i>Recursos técnicos utilizados en todos los métodos experimentales</i>	17
3.3.1 <i>Equipos de protección de protección personal (EPP).....</i>	17
3.3.2 <i>Temperatura y concentración de bicarbonato de sodio.....</i>	17
3.3.3 <i>Equipos de medición de masa para el análisis de eficiencia.....</i>	19
3.4 <i>Recursos utilizados en los procesos electrolíticos.</i>	19
3.4.1 <i>Fuente de alimentación regulada: para seguridad y control térmico</i>	19
3.4.2 <i>Elemento conductor de sacrificio (correa de acero).....</i>	19
3.5 <i>Proceso de inmersión de componentes en bicarbonato de sodio.</i>	21

3.5.2	<i>Paso 1. selección y preparación de los componentes automotriz.....</i>	<i>21</i>
3.5.3	<i>Paso 2. pieza sumergida en bicarbonato de Sodio.</i>	<i>22</i>
3.5.4	<i>Paso 3. retiro de la pieza, enjuague y secado del componente.....</i>	<i>23</i>
3.5.5	<i>Resultados obtenidos: antes y después del proceso.....</i>	<i>23</i>
3.6	Proceso del método de electrólisis convencional	24
3.6.1	<i>Materiales utilizados en el método de electrólisis convencional</i>	<i>25</i>
3.6.2	<i>Paso 1: preparación del área de trabajo y medidas de seguridad</i>	<i>25</i>
3.6.3	<i>Paso 2: colocación y montaje del circuito electrolisis convencional</i>	<i>26</i>
3.6.4	<i>Paso 3: aplicación de la corriente y monitoreo del proceso.....</i>	<i>27</i>
3.6.5	<i>Paso 4: manejo del componente al finalizar la electrólisis convencional..</i>	<i>27</i>
3.6.6	<i>Paso 5: finalización del proceso de electrólisis convencional</i>	<i>27</i>
3.6.7	<i>Resultados obtenidos: antes y después del proceso.....</i>	<i>29</i>
3.7	Proceso de implementación del método de electrólisis inversa.....	30
3.7.1	<i>Materiales utilizados en el método electrólisis inversa</i>	<i>30</i>
3.7.2	<i>Paso 1: preparación del área de trabajo</i>	<i>31</i>
3.7.3	<i>Paso 2: montaje del circuito con polaridad invertida</i>	<i>31</i>
3.7.4	<i>Paso 3: retiro del componente y monitoreo del proceso</i>	<i>32</i>
3.7.5	<i>Paso 4: finalización del proceso de electrólisis inversa.....</i>	<i>33</i>
3.7.6	<i>Resultados Obtenidos: antes y después del proceso</i>	<i>34</i>
Capítulo IV		36
Análisis de resultados.....		36
4.1	Resultados de la remoción de oxido en el método de bicarbonato de sodio ..	36
4.1.1	<i>Análisis de resultados obtenidos</i>	<i>37</i>
4.1.2	<i>Ventajas y limitaciones observadas.....</i>	<i>37</i>
4.2	Resultados del método de electrólisis convencional	37
4.2.1	<i>Análisis de los resultados obtenidos.....</i>	<i>38</i>
4.2.2	<i>Ventajas y limitaciones observadas.....</i>	<i>38</i>
4.3	Análisis de los resultados obtenidos	38

4.3.1	<i>Análisis de los resultados obtenidos.....</i>	39
4.3.2	<i>Implicaciones y limitaciones observadas.....</i>	39
4.4	Descripción general de los insumos y costos recurrentes	39
4.4.1	<i>Descripción general de los insumos y costos recurrentes.....</i>	40
4.4.2	<i>Consideraciones económicas.....</i>	40
4.5	Metodología de calculo de consumo	41
4.5.1	<i>Consumo eléctrico de los métodos electrolíticos</i>	41
4.5.2	<i>Análisis de los resultados del consumo.....</i>	42
4.5.3	<i>Implicaciones económicas y prácticas del consumo eléctrico</i>	42
	Conclusiones	43
	Recomendaciones	44
	Referencias.....	45

Índice de tablas

Tabla 1	Efectividad en la remoción de óxido por inmersión en bicarbonato de sodio (peso en lb).....	36
Tabla 2	Efectividad en la remoción de óxido en la electrolisis convencional (pesos en lb)	37
Tabla 3	Efectividad en la remoción de óxido en la electrólisis inversa (pesos en lb).....	39
Tabla 4	Costos asociados	40
Tabla 5	Consumo eléctrico	41

Índice de figuras

Figura 1 Electrolisis	10
Figura 2 Electrólisis inversa	11
Figura 3 Bicarbonato de sodio	12
Figura 4 Componente metálico con corrosión.....	13
Figura 5 Componente automotriz oxidado	13
Figura 6 Procesos químicos.....	15
Figura 7 Seguridad EPP.....	18
Figura 8 Mandil	18
Figura 9 Bicarbonato de sodio	18
Figura 10 Equipos de medición.....	19
Figura 11 Voltaje y amperaje utilizado en el sistema de electrolisis convencional e inversa	20
Figura 12 Correa de acero	20
Figura 13 Método de inmersión en Bicarbonato de Sodio	21
Figura 14 Componente sumergido.....	22
Figura 15 Remoción del oxido en el componente	22
Figura 16 Limpieza del componente	23
Figura 17 Árbol de leva antes y después de la inmersión en bicarbonato de sodio.....	23
Figura 18 Plato de presión de embrague antes y después de la inmersión en bicarbonato de sodio	24
Figura 19 Disco de freno antes y después de la inmersión en bicarbonato de sodio.....	24
Figura 20 Diagrama de proceso de electrólisis convencional	24
Figura 21 Componente metálico sumergido.....	26
Figura 22 Montaje del componente.....	26
Figura 23 Componente en el proceso de electrólisis convencional.....	27
Figura 24 Retiro del componente metálico.....	28
Figura 25 Limpieza del componente	28
Figura 26 Antes y después de la correa de acero sacrificada.....	29
Figura 27 Disco de freno antes y después del de electrólisis convencional.....	29
Figura 28 Plato de presión antes y después del método de electrólisis convencional	29
Figura 29 Árbol de leva antes y después del método de electrólisis convencional	30
Figura 30 Diagrama de el proceso de electrolisis inversa.....	30
Figura 31 Correas sacrificada de acero después del proceso de electrolisis	31
Figura 32 Correas sacrificada de acero después del proceso de electrolisis.....	32
Figura 33 Componente sumergido.....	32
Figura 34 Limpieza del componente	33
Figura 35 Correas sacrificada de acero antes y después del proceso de electrólisis inversa.....	34
Figura 36 Plato de presión de embrague antes y después del método de electrólisis inversa	34
Figura 37 Árbol de leva antes y después del método de electrólisis inversa	34
Figura 38 Disco de freno antes y después del método de electrólisis inversa	35

Resumen

En el presente proyecto de integración curricular, se analizaron tres métodos de desoxidación en componentes automotrices (árbol de levas, disco de freno y plato de presión de embrague). Fueron comparados los métodos de electrólisis convencional, electrólisis inversa e inmersión en bicarbonato y su efectividad. Los resultados muestran que la inmersión en bicarbonato logró desprender de forma moderada el óxido, mientras que la electrólisis convencional duplicó la efectividad sin necesidad de dañar el metal base; por el contrario, la electrólisis inversa generó un aumento de la masa por corrosión acelerada. El análisis económico reveló costos eléctricos insignificantes y un costo de mano de obra satisfactorio para la electrólisis convencional. Este análisis proporciona a los talleres automotrices en Ecuador una alternativa ejecutable, segura y de bajo costo para la restauración y desoxidación de componentes oxidados, promoviendo prácticas estandarizadas con la utilización de protocolos técnicos basados en los estándares y marcos normativos actuales.

Palabras clave: electrólisis convencional, desoxidación, restauración.

Abstract

In this curricular integration project, three deoxidation methods for automotive components (camshaft, brake disc, and clutch pressure plate) were analyzed. The methods of conventional electrolysis, reverse electrolysis, and bicarbonate immersion were compared for effectiveness. The results show that bicarbonate immersion moderately removed the oxide, while conventional electrolysis doubled the effectiveness without damaging the base metal. Conversely, reverse electrolysis resulted in increased mass due to accelerated corrosion. The economic analysis revealed negligible electrical costs and satisfactory labor costs for conventional electrolysis. This analysis provides automotive workshops in Ecuador with a feasible, safe, and low-cost alternative for the restoration and deoxidation of oxidized components, promoting standardized practices through the use of technical protocols based on current standards and regulatory frameworks.

Keywords: conventional electrolysis, deoxidation, restoration.

Introducción

En el campo automotriz, específicamente en talleres de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, el óxido es un problema recurrente que afecta componentes metálicos como el plato de presión de embrague, disco de freno y árbol de levas, generando un desgaste acelerado, pérdida en sus funciones y altos costos por reemplazos prematuros.

La problemática planteada en el presente proyecto fue la necesidad de identificar un método eficaz, seguro y económico para la desoxidación y restauración de los citados componentes, y superar las limitaciones de los métodos tradicionales (como la utilización de ácidos fuertes o abrasivos) en términos de tiempo, daño al metal base y viabilidad económica en situaciones probables con recursos limitados.

El presente estudio sirvió como respuesta a la problemática planteada, cuantificando la efectividad evaluada en tres métodos: remoción por bicarbonato, electrólisis convencional y electrólisis inversa; teniendo en cuenta el desprendimiento del óxido. Se tomaron datos relacionados con el tiempo de remoción, consumo eléctrico y mano de obra, determinando el método con mayor remoción de óxido sin causar daños en los metales.

Las muestras de los componentes automotrices fueron facilitadas por el taller automotriz Paton, de la ciudad de Guayaquil. Los componentes reales oxidados liberaron gases durante las pruebas electrolíticas, lo que obligó a utilizar lugares espaciosos y controlar los tiempos para evitar daños en los componentes en las pruebas de electrólisis inversa.

Se aplicaron medidas de seguridad y se utilizó el criterio del “lodo negro” como indicador de finalización en la electrólisis convencional.

El trabajo se divide en cuatro capítulos principales: el Capítulo I presenta el marco teórico y contextual; el Capítulo II detalla la metodología experimental; el Capítulo III describe los procedimientos y resultados; el Capítulo IV analiza en profundidad los resultados por método. Se incluyeron los resultados obtenidos describiendo los procesos y procedimientos y tablas de pérdida de masa, consumo eléctrico y costos; exponiendo las conclusiones y recomendaciones.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo ofrecen alternativas económicas y sostenibles para los talleres mecánicos en el Ecuador, permitiendo alargar la vida útil de componentes automotrices, reduciendo gastos en repuestos importados y promoviendo prácticas amigables con el ambiente. Esto contribuye al conocimiento académico en restauración automotriz, proporcionando datos cuantitativos que se utilizarán para futuras capacitaciones y mejoras en el sector automotriz.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Análisis comparativo de métodos para la restauración y desoxidación de componentes automotrices.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

El desgaste y la corrosión en las superficies de componentes automotrices son algo común. Debido a que los vehículos están expuestos a condiciones ambientales fluctuantes, en su mayoría tienen una capa delgada de protección anticorrosiva. Si los componentes no son sometidos a una limpieza a tiempo, el óxido puede comprometer la estética, la resistencia mecánica y el funcionamiento correcto de la pieza, lo que genera un aumento en costos de la reparación y una reducción significativa de la vida útil del automotor.

En talleres de restauración se utilizan métodos para la eliminación del óxido y su restauración utilizando baños de electrólisis, bicarbonato de sodio y electrólisis inversa. Estos métodos tienen ventajas y desventajas al momento de ser implementados por su nivel de duración, alcance en zonas de difícil acceso y costos por la cantidad de equipos utilizados en el proceso. Es una práctica recurrente que se adopten procedimientos basándose exclusivamente en la experiencia, sin una evaluación técnica de cada uno de los métodos, lo que conduce a resultados poco efectivos.

Es necesario el análisis para comparar estos métodos y llegar a una conclusión de cuál ofrece un mejor costo-beneficio al momento de restaurar componentes automotrices.

1.2.1 Planteamiento del problema

La corrosión es una de las problemáticas más comunes en los componentes metálicos de un automotor, generada principalmente por la exposición a humedad, químicos, variaciones en la temperatura y condiciones ambientales agresivas. Este daño no solo afecta la apariencia estética del componente, sino que reduce de forma progresiva su resistencia estructural, funcionalidad y seguridad al momento de ser utilizado.

El desgaste en los componentes metálicos genera pérdidas en la precisión, fallas, minimización de la vida útil y menor resistencia al momento de ser utilizados.

En procesos industriales, al igual que en talleres de restauración, se utilizan métodos para la eliminación del óxido y la recuperación de uno o varios componentes metálicos. Entre los métodos más utilizados se pueden encontrar las técnicas mecánicas, químicas y electrolíticas. Estos métodos tienen tanto ventajas como limitaciones en cuanto a su costo-beneficio; estos factores resultan determinantes al momento de elegir el método más adecuado.

Por lo general, esta elección se realiza de manera empírica o por accesibilidad de recursos, sin un análisis comparativo que permita identificar cuál ofrece el mejor balance entre resultados y gastos. Esto puede derivar en intervenciones poco eficientes, aumento de los costos de operación y reducción de la vida útil de los componentes automotrices.

1.2.2 Formulación del problema

En este contexto, surge la pregunta: ¿Qué métodos de restauración y desoxidación de componentes automotrices se pueden ofrecer para obtener la mejor relación costo-beneficio, considerando las técnicas químicas y electrolíticas utilizadas en el campo automotriz y en talleres de restauración?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Cuáles son los métodos más utilizados para la desoxidación y restauración de componentes automotrices?
- ¿Cuál es la efectividad de cada uno de estos métodos en la eliminación del óxido y en la recuperación funcional de las propiedades del componente automotriz?
- ¿Qué método puede generar la mejor relación costo-beneficio en distintos contextos de aplicación dentro del campo automotriz?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Comparar diferentes métodos de restauración y desoxidación de componentes automotrices, evaluando la relación costo-beneficio e identificando qué método

ofrece la mejor relación entre ambos factores para su aplicación en el campo automotriz.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la efectividad de los métodos en la eliminación del óxido y en la recuperación de las propiedades del componente automotriz.
- Identificar el método más efectivo para la desoxidación y restauración de componentes automotrices.
- Determinar qué método presenta la mejor relación costo-beneficio para su aplicación en distintos contextos del sector automotriz.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

La justificación teórica del proyecto “Análisis comparativo de métodos para la restauración y desoxidación de componentes automotrices” es fundamental para establecer la relevancia y la importancia del estudio. A continuación, se presenta una justificación teórica detallada para respaldar este proyecto:

La corrosión de los componentes metálicos en el sector automotriz es un fenómeno que genera la pérdida de las propiedades del material de forma natural, causado principalmente por la reacción del hierro con el oxígeno y la humedad, lo que da lugar a la formación de óxido férrico (Fe_2O_3). Este proceso compromete directamente la integridad estructural de las piezas, afectando la seguridad y la funcionalidad, y generando una caída en el valor del vehículo en el mercado. La restauración y desoxidación de componentes metálicos buscan minimizar este deterioro, alargando su vida útil.

1.4.2 Justificación metodológica

En el presente proyecto se comparó la eficacia de tres métodos de restauración y desoxidación de componentes automotrices: limpieza con bicarbonato de sodio, electrólisis y electrólisis inversa.

Se aplicó cada uno de los métodos a diferentes piezas con condiciones de corrosión ambiental similares, midiendo el nivel de remoción de óxido, el tiempo de ejecución, la pérdida de masa mediante análisis gravimétrico y el costo total. El diseño experimental y el análisis cuantitativo permitió identificar el método con mejor relación costo-beneficio para su uso en talleres de restauración.

1.4.3 Justificación práctica

Este estudio tiene un valor aplicado directo, ya que sus resultados podrán ser utilizados por talleres en formación, restauradores y técnicos para seleccionar de forma objetiva el método más eficiente y económico en la eliminación de óxido. La comparativa de los diferentes métodos (como la limpieza con bicarbonato de sodio, la electrólisis y la electrólisis inversa) proporcionará información concreta sobre el desempeño de cada técnica en condiciones reales de trabajo.

La comparación de los diferentes métodos permitió optimizar recursos y extender la vida útil de las piezas metálicas empleadas, indicando que estos componentes fueron utilizados exclusivamente para ensayos con el fin de determinar la eficacia de cada método, sin priorizar su posterior reinstalación en el vehículo. Además, servirá como guía de referencia para la capacitación de personal técnico y la estandarización de procesos de mantenimiento y restauración automotriz.

Los talleres automotrices enfrentan limitaciones en el acceso a insumos importados y altos costos de mantenimiento (según datos del INEC, 2024, el sector automotor representa el 15% de las importaciones técnicas). Esta investigación busca promover alternativas como el bicarbonato de sodio (de bajo costo y disponibilidad local), combinado con cargadores eléctricos comunes de 12 V / 2 A. Esto no solo minimiza la dependencia de ácidos químicos agresivos de elevado costo, sino que fomenta prácticas seguras y ecológicas, alineadas con

regulaciones nacionales como la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 338 para el manejo de residuos peligrosos en talleres (INEN, 2023).

1.4.4 Delimitación temporal

Se llevo a cabo el análisis comparativo de métodos para la restauración y desoxidación de componentes automotrices que proporcionan información que incluye las fases de aprobación, desarrollo teórico y práctico, comenzando en octubre de 2025 y finalizando en febrero de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

Este proyecto se llevo a cabo en el taller automotriz Paton, ubicado en la ciudad de Guayaquil, enfocándose principalmente en componentes cubiertos por una o varias capas de óxido, los cuales se obtienen fácilmente en el ámbito del sector automotriz.

1.4.6 Delimitación del contenido

El proyecto se enfoca en la comparación de tres métodos de restauración y desoxidación de componentes del campo automotriz: limpieza con bicarbonato de sodio, electrólisis y electrólisis inversa.

El análisis se limito a dos criterios: eficacia en la eliminación del óxido y costo asociado (equipos, insumos, mano de obra y tiempo). Adicionalmente, se tomarán en consideración otros aspectos como la disponibilidad nacional de insumos y la estética de los componentes antes y después de la restauración.

Se estudio la normativa ISO 22734-1:2025 con el fin de identificar las condiciones más seguras y eficientes para realizar la desoxidación de componentes metálicos mediante electrólisis en talleres de mantenimiento automotriz.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 Aplicación de la electrolisis en componentes metálicos

“La electrolisis es un método mediante el cual pasa una corriente eléctrica entre electrodos inertes sumergidos en agua, y así separar sus moléculas en sus elementos constitutivos: hidrógeno y oxígeno” *Nota*. Adaptado de Aguinaga (2012).

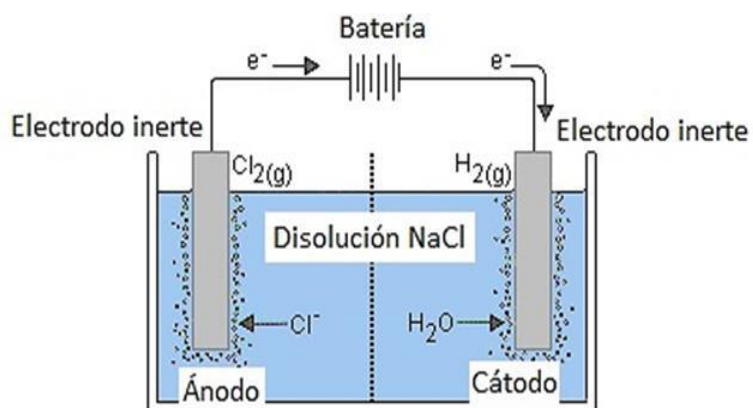
En el ámbito automotriz, este método se emplea principalmente en la desoxidación, limpieza y recubrimiento de componentes metálicos expuestos a la corrosión.

El componente metálico a restaurar se conecta al cátodo, mientras que la pieza de acero sacrificada actúa como ánodo. Al circular la corriente continua a través de la solución electrolítica, los pequeños fragmentos de corrosión presentes en la superficie del componente se reducen y comienzan a desprenderse, recuperando así la estética original del material base; esto se puede observar en la figura 1.

De acuerdo con la normativa NTE INEN-ISO 9001:2015 para la calidad del proceso, al iniciar las pruebas se tomaron datos clave (voltaje, concentración de bicarbonato y condiciones de la electrolisis), registrados para que cualquier taller pueda replicar el ensayo de forma precisa.

Figura 1

Electrolisis



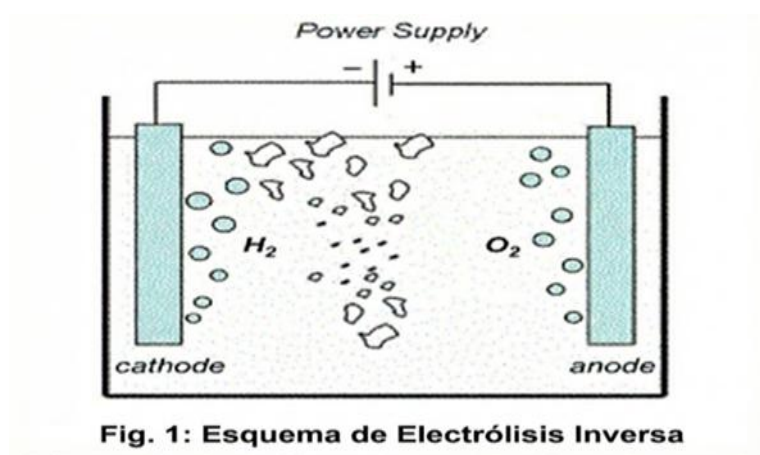
Fuente: (Tecnología, 2020).

2.1.2 Aplicación de la electrólisis inversa en componentes metálicos

La electrólisis inversa es definida por invertir la polaridad del sistema: utiliza el componente metálico automotriz actuando como ánodo, la corriente eléctrica se concentra en las micro-rugosidades. Esto provoca que las irregularidades microscópicas se disuelvan más rápido que las zonas de difícil acceso; las partículas de óxido se empiezan a separar de la superficie logrando un resultado impecable, como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Electrólisis inversa



Fuente: (Siva, 2022).

2.1.3 Propiedades de los componentes mecánicos

Las propiedades mecánicas definen la capacidad de un material para resistir esfuerzos y cumplir con su diseño original sin fallar pero pueden ser afectadas por el entorno.

2.1.4 Aplicación de bicarbonato de sodio en componentes metálicos

El bicarbonato de sodio (NaHCO_3) es utilizado en talleres mecánicos de restauración de piezas metálicas. Desempeña la función de tampón alcalino suave (pH 8,3), neutraliza ácidos residuales, disuelve hidróxidos y carbonatos básicos de Al y Cu, genera CO_2 que desprende suciedad y eleva el pH superficial del acero para inhibir temporalmente la oxidación, todo ello sin atacar los metales base ni su estructura; este efecto se puede observar en la figura 3.

Figura 3

Bicarbonato de sodio



Fuente: (Confidencial, 2024).

2.1.5 Componentes automotrices metálicos

Los componentes automotrices metálicos son elementos funcionales y esenciales, diseñados para ofrecer resistencia, durabilidad y seguridad.

"El acero es un pilar fundamental dentro de la fabricación de automóviles. Su alta resistencia a impactos, bajo coste y versatilidad lo convierten en una elección insustituible para componentes estructurales" (Walter Pack, 2024).

Teniendo como desventaja una alta susceptible a la oxidación cuando se expone a la humedad y al oxígeno. En componentes de acero de alta resistencia, la corrosión no es solo un problema estético; puede causar fatiga del material, lo que compromete la seguridad estructural del vehículo.

2.1.6 Corrosión

La corrosión es uno de los procesos de deterioro de materiales metálicos causado por reacciones electroquímicas al estar expuestos a condiciones ambientales adversas; en la industria automotriz es la principal causa de degradación de chasis, carrocerías, sistemas de escape y otras piezas sometidas a humedad y variaciones de temperatura; esto se puede observar en la figura 4.

"Pueden no existir cambios visibles en el material, sin embargo el material puede fallar inesperadamente a causa de ciertos cambios en su estructura interna" (Escuela Politécnica Nacional, 2022).

Figura 4

Componente metálico con corrosión



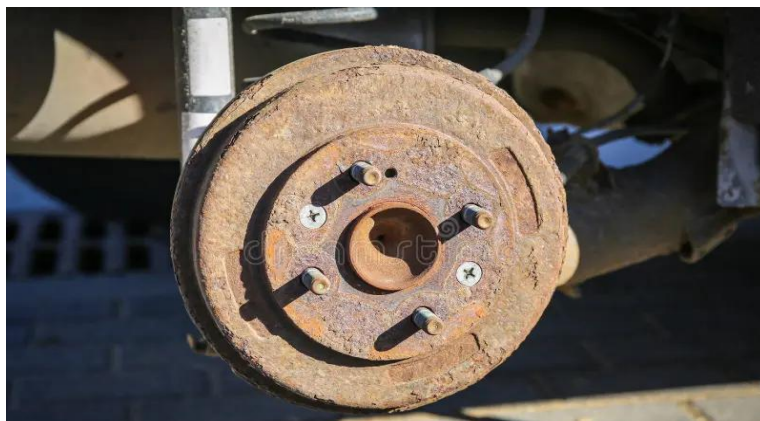
Fuente: (Vistok, 2024).

2.1.7 Óxido

Como se muestra en la figura 5, el óxido es el producto directo de la corrosión, compuesto por óxidos metálicos como el óxido de hierro (Fe_2O_3); este afecta directamente la resistencia mecánica y reduce el tiempo de vida del automotor, ya que "es un efecto natural que se agrava por distintos factores: el clima, vivir en zonas costeras y la guarda del vehículo en lugares húmedos" (Fierros Clásicos, 2012).

Figura 5

Componente automotriz oxidado



Fuente: (Dreamstime, 2025).

2.1.8 Desoxidación

La desoxidación remueve el óxido adherido a superficies metálicas de distintos componentes y se logra mediante medios químicos o electroquímicos; es fundamental antes de aplicar cualquier recubrimiento anticorrosivo.

2.1.9 Restauración automotriz

Los talleres de restauración representan "a menudo la mejor opción para un mantenimiento adecuado y a precios razonables" (Cando Macas, 2019). Esto incluye técnicas y procedimientos aplicados para recuperar las propiedades de fábrica del componente, tanto funcionales como estéticas, mediante reparación, sustitución de partes o aplicación de recubrimientos protectores.

2.1.10 Relación costo-beneficio

"El Análisis Costo-Beneficio sirve para evaluar si un proyecto de inversión o una política pública aportan beneficios a la sociedad que compensen los costes que supone su ejecución" (Rus Mendoza, 2021).

Bajo este lineamiento, los ensayos realizados, como el pesaje de la masa y el análisis de consumo eléctrico antes y después de cada prueba, buscan cuantificar los beneficios técnicos de la inmersión por bicarbonato y electrólisis (convencional e inversa) frente a sus costes operativos. El proceso logró una restauración profunda sin comprometer la integridad estructural del acero y con un gasto energético mínimo; el beneficio neto del proyecto justifica su implementación en talleres de restauración automotriz.

2.1.11 Reducción de costos operativos

Datos del mantenimiento automotriz revelan que entre el treinta y el cuarenta por ciento de los costos están directamente relacionados con la sustitución de componentes sulfatados o corroídos (NACE International, 2016).

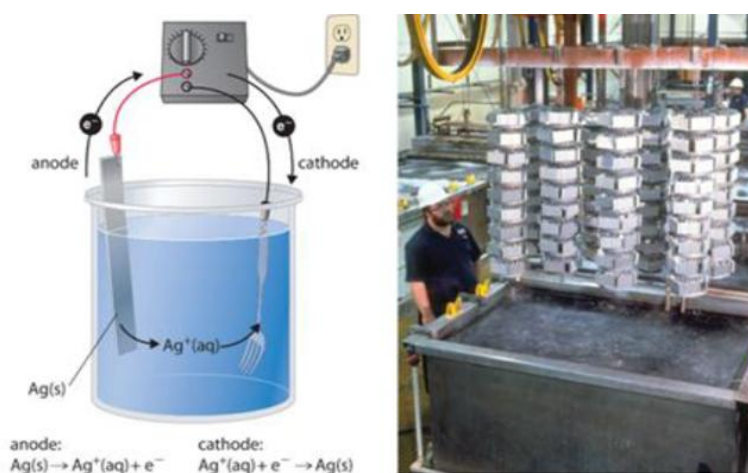
La aplicación de la electrólisis se convierte en uno de los métodos más favorables a nivel de costos, permite extender la vida útil de los materiales y reduce los gastos por reemplazos y paradas de producción; además, contribuye a disminuir el impacto ambiental al minimizar residuos metálicos en el sector automotor, como se muestra en la figura 6.

Cada una de las pruebas se realizó a temperatura ambiente (20–25 °C), con la utilización de 100 g de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) por cada 10 L de agua para cada uno de los métodos electrolíticos, respetando la normativa ISO 22734-1:2025.

Con esta normativa NTE INEN-ISO 45001:2018, es obligatoria la utilización de equipos de protección personal EPP (gafas, guantes impermeables y ventilación forzada) para minimizar riesgos de quemaduras eléctricas, explosiones por acumulación de hidrógeno o inhalación de vapores tóxicos.

Figura 6

Procesos químicos



Fuente: (Alicante, 2024).

Capítulo III

Ejecución experimental

3.1 Diseño y metodología

El presente estudio empleó un enfoque cuantitativo y experimental que compara la viabilidad y efectividad de los métodos de desoxidación empleados para remover el óxido, midiendo la pérdida de masa y costos de insumos bajo condiciones controladas.

3.2 Metodología experimental de los métodos de desoxidación

Se implementó la práctica de los tres métodos evaluados: inmersión en bicarbonato de sodio, electrólisis convencional y electrólisis inversa. Todos los ensayos se realizaron en el taller automotriz Paton (Guayaquil, Ecuador), bajo condiciones controladas de temperatura ambiente (20–25 °C), utilizando la misma concentración electrolítica base (100 g de NaHCO_3 por cada 10 L de agua) y aplicando las normas de seguridad establecidas en la ISO 22734-1:2025.

3.2.1 Selección de componentes de ensayo

Las muestras utilizadas fueron tres componentes automotrices representativos y altamente susceptibles a la corrosión; estas piezas se emplearon únicamente para los ensayos de remoción de óxido, por lo que no se contempla, de ninguna manera, su reinstalación en el vehículo tras finalizar las pruebas.

- **Discos de freno:** Cuentan con superficies planas, se encuentran en constante contacto con agentes ambientales y tienen una alta exposición térmica.
- **Platos de presión de embrague:** Componente con espacios difíciles de limpiar, sin llegar a tener un desgaste mayor.
- **Árboles de levas:** Componentes de precisión donde la integridad y el acabado del material base son de mucha importancia.

3.2.2 Materiales y equipos utilizados

- Fuente de corriente continua (Cargador de batería modelo C9305): 12 V / 2 A.
- Gramera digital de precisión: con capacidad de hasta 3 kg
- Balanza digital industrial: con capacidad de hasta 40 kg.

- Ánodo sacrificado (Correa de acero).
- Recipiente plástico industrial de 20 L de capacidad.
- Bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
- Equipos de protección personal (EPP): gafas de seguridad y guantes de nitrilo.

3.2.3 Parámetros medidos para los métodos de desoxidación

- Masa inicial y final de la pieza en cada una de las pruebas.
- Tiempo total transcurrido en cada una de las pruebas.
- Voltaje y corriente utilizados en cada una de las pruebas.
- Comparación fotográfica antes y después de cada prueba.
- Costos asociados (insumos, energía y mano de obra estimada).

3.3 Recursos técnicos utilizados en todos los métodos experimentales

3.3.1 Equipos de protección de protección personal (EPP)

Se priorizo la utilización de equipo de protección personal (EPP) durante todos los procesos, teniendo como objetivo principal mitigar riesgos químicos y eléctricos.

La utilización de las gafas de seguridad fue necesaria para proteger la mucosa ocular contra salpicaduras de electrolitos, generadas principalmente por el burbujeo de gases durante el proceso de electrólisis, ver figura 7.

Los guantes de nitrilo actuaron como protección en contra de sustancias corrosivas y proporcionaron un grado de aislamiento eléctrico durante el proceso de electrólisis, ver figura 7.

Para estar protegidos de forma integral, se utilizo un mandil, ya que su función principal es servir como escudo primario para el cuerpo, evitando que, en caso de chispas o salpicaduras, lleguen a causar daños en la piel, ver figura 8.

3.3.2 Temperatura y concentración de bicarbonato de sodio

Cada una de las pruebas se realizó a temperatura ambiente (20–25 °C), con la utilización de 100 g de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) por cada 10 L de agua para cada uno de los métodos electrolíticos, respetando la normativa ISO 22734-1:2025.

Figura 7

Seguridad EPP



Fuente: (Knova, 2025).

Figura 8

Mandil

**Figura 9**

Bicarbonato de sodio



3.3.3 Equipos de medición de masa para el análisis de eficiencia

Para cuantificar la efectividad de la remoción de óxido, se estableció un protocolo de pesaje obligatorio antes y después de la aplicación de los tres métodos: inmersión en bicarbonato, electrólisis convencional e electrólisis inversa. La recolección de datos se realizó mediante los siguientes equipos:

La Balanza de plataforma (Capacidad 40 kg) fue empleada para pesar la masa inicial y final de los componentes de mayor tamaño, como el disco de freno, árbol de levas y el plato de presión, asegurando un registro estable de las piezas robustas.

Balanza de precisión o gramera (Capacidad 3 kg) fue utilizada para la medición precisa y controlada del reactivo (bicarbonato); esto se puede observar en la figura 10.

Figura 10

Equipos de medición



3.4 Recursos utilizados en los procesos electrolíticos.

3.4.1 Fuente de alimentación regulada: para seguridad y control térmico

El circuito de electrólisis (convencional e inversa) trabaja a un voltaje y amperaje controlado (12 V a 2 A), por esta razón se utilizó un (Cargador de batería Modelo C9305) permitiendo una reacción estable y segura, garantizando que el proceso químico sea el protagonista y no el calor residual evitando posibles riesgos eléctricos, ver figura 11.

3.4.2 Elemento conductor de sacrificio (correa de acero)

Este componente fue indispensable en ambos métodos de electrólisis (convencional e inversa) para cerrar el circuito eléctrico y permitir la transferencia iónica a través del

electrolito. En la electrólisis convencional, actúa como el polo positivo (ánodo) que atrae las partículas de óxido desprendidas del componente automotriz, protegiendo el metal base. En la electrólisis inversa, su función se alterna para cerrar el circuito y facilitar la corrosión acelerada del componente. Se utiliza acero estructural por su alta conductividad, bajo costo y facilidad de obtención en el entorno industrial, asegurando la viabilidad económica del protocolo de restauración, ver figura 12.

Figura 11

Voltaje y amperaje utilizado en el sistema de electrolisis convencional e inversa



Figura 12

Correa de acero



3.5 Proceso de inmersión de componentes en bicarbonato de sodio.

Figura 13

Método de inmersión en Bicarbonato de Sodio



Fuente: (dreamstime, 2025).

3.5.1 Materiales utilizados en el método de inmersión en bicarbonato de sodio

- Agua.
- Recipiente plástico industrial de 20 L de capacidad.
- Bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
- Equipos de protección personal (EPP): gafas de seguridad y guantes de nitrilo.

3.5.2 Paso 1. selección y preparación de los componentes automotriz

En el análisis del bicarbonato como método desoxidante de componentes automotrices, se seleccionaron estas piezas para demostración; tras el proceso, no se volverán a utilizar: disco de freno, plato de presión de embrague y árbol de levas.

Se llenó la bandeja plástica con agua suficiente para cubrir el componente mediante un remojo prolongado, únicamente con bicarbonato de sodio (NaHCO_3 , 100 g) disuelto en agua (10 L), sin utilizar una fuente de corriente eléctrica externa, ver figura 14.

Figura 14

Componente sumergido



3.5.3 Paso 2. pieza sumergida en bicarbonato de Sodio.

El componente automotriz fue sumergido por completo luego de ser vertido el bicarbonato de sodio en el agua, transcurriendo un tiempo estimado (20 horas), hasta que el bicarbonato de sodio actuó como un tampón alcalino suave con un pH aproximado de 8.3.

Eliminando principalmente el óxido superficial, este empezó a desprenderse y dispersarse en la solución, permitiendo su remoción parcial, ver figura 15.

Figura 15

Remoción del oxido en el componente



3.5.4 Paso 3. retiro de la pieza, enjuague y secado del componente.

Se retiraron los componentes de la bandeja plástica, limpiando en ese mismo momento para retirar el exceso de óxido que se desprende al finalizar la práctica. Después, se aplicó el lubricante y limpiador en aerosol (WD-40) para una mayor protección anticorrosiva, evitando así que el componente metálico, luego de unos minutos, empiece a oxidarse de forma acelerada; esto se puede observar en la figura 16.

Esto ocurre porque el bicarbonato desprendió la capa de óxido viejo, dejando el hierro puro expuesto. Ese hierro funciona como una esponja, reaccionando de forma rápida con el oxígeno del aire y la humedad ambiental, provocando que este, al no ser cubierto con un limpiador, empiece a sufrir de oxidación acelerada, ver figuras 17,18 y 19.

Figura 16

Limpieza del componente



3.5.5 Resultados obtenidos: antes y después del proceso.

Figura 17

Árbol de leva antes y después de la inmersión en bicarbonato de sodio.



Figura 18

Plato de presión de embrague antes y después de la inmersión en bicarbonato de sodio

**Figura 19**

Disco de freno antes y después de la inmersión en bicarbonato de sodio.



3.6 Proceso del método de electrólisis convencional

Figura 20

Diagrama de proceso de electrólisis convencional



Fuente: (dreamstime, 2025).

3.6.1 Materiales utilizados en el método de electrólisis convencional

- Agua.
- Fuente de corriente continua (Modelo C9305): 12 V / 2 A.
- Gramera digital de precisión: con capacidad de hasta 3 kg.
- Balanza digital industrial: con capacidad de hasta de 40 kg.
- Ánodo de sacrificio (correa de acero).
- Recipiente plástico industrial de 20 L de capacidad.
- Bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
- Equipos de protección personal (EPP): gafas de seguridad y guantes de nitrilo.

3.6.2 Paso 1: preparación del área de trabajo y medidas de seguridad

En el análisis de la electrólisis convencional como método desoxidante de componentes automotrices, se seleccionaron estas piezas para demostración; tras el proceso, no se volverán a utilizar: disco de freno, plato de presión de embrague y árbol de levas.

La electrólisis descompone las moléculas de agua liberando hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo. Generando una acción mecánica que desprende el óxido durante el proceso, la liberación de hidrógeno en la interfaz del metal ejerce una acción mecánica que desprende el óxido; por esta razón, las pruebas se realizaron en un espacio ventilado y alejado de materiales inflamables, evitando así la acumulación de este gas, el cual, recordemos, presenta un alto riesgo de inflamabilidad. Por este motivo, se trabajó al aire libre y con equipo de protección personal (guantes y gafas).

Según Laverde Albarracín et al. (2018), en entornos de mantenimiento automotriz se debe priorizar la mejora de la calidad del aire a través de sistemas de ventilación y extracción como medidas de protección colectiva.

Se llenó la bandeja plástica con agua suficiente para cubrir el componente mediante un remojo prolongado con bicarbonato de sodio (NaHCO_3 , 100 g), disuelto en agua (10 L),

liberando iones que permiten que los 12 V / 2 A fluyan, teniendo la reacción esperada; esto se puede observar en la figura 21.

Figura 21

Componente metálico sumergido



3.6.3 Paso 2: colocación y montaje del circuito electrolisis convencional

Luego de colocar el componente a desoxidar dentro del recipiente plástico, se prioriza conectar el polo negativo (cátodo) del cargador a la pieza que en ese momento está cubierta de óxido.

La barra de acero que se sacrificará se conecta al polo positivo (ánodo); se debe evitar que el componente a desoxidar tenga contacto directo con la pieza a sacrificar, ya que este no realizaría la desoxidación ni iniciaría la limpieza del componente, ya que haría cortocircuito, no tendría una reacción electrolítica en la pieza y el óxido del componente no empezaría a desprenderse; esto se puede observar en la figura 22.

Figura 22

Montaje del componente



3.6.4 Paso 3: aplicación de la corriente y monitoreo del proceso

Luego de revisar el correcto funcionamiento de la alimentación (12 V / 2 A), se pudo apreciar, luego de unos minutos, la formación de burbujas (hidrógeno en la pieza y oxígeno en el ánodo). Se controló periódicamente el tiempo de la electrólisis; al ser una pieza grande (5 horas), este, junto con la temperatura (20–25 °C), fueron regulados para evitar que los átomos de hidrógeno empiecen a penetrar la estructura molecular del acero, reduciendo su resistencia mecánica y volviéndolo quebradizo; esto se puede observar en la figura 23.

Figura 23

Componente en el proceso de electrólisis convencional



3.6.5 Paso 4: manejo del componente al finalizar la electrólisis convencional

Una vez completado el tiempo del proceso electrolítico, se procede al retiro de la pieza del tanque. En el caso del plato de presión de embrague tratado mediante electrólisis convencional, se observa una remoción significativa del óxido superficial, aunque pueden persistir residuos finos o una ligera capa negra residual.

Para sacar el componente, se debe retirar la alimentación eléctrica, evitando problemas eléctricos; esto se puede observar en la figura 24.

3.6.6 Paso 5: finalización del proceso de electrólisis convencional

Luego de sacar el componente, retiramos el exceso de óxido que se desprendió del componente metálico debido a la electrólisis. Se aplicó inmediatamente un inhibidor de

corrosión (WD-40) sobre toda la superficie para prevenir la formación acelerada de óxido, fenómeno común debido a que el bicarbonato desprendió la capa de óxido viejo, dejando el hierro puro expuesto. Ese hierro funciona como una esponja, reaccionando de forma rápida con el oxígeno del aire y la humedad ambiental, provocando que este, al no ser cubierto con un limpiador, empiece a sufrir de oxidación acelerada, ver figura 25.

Una vez finalizado el proceso de electrólisis, visualizamos el estado de la correa de acero que fue sacrificada, viendo cómo esta se encuentra cubierta del óxido residual del componente automotriz, confirmando que el proceso fue efectivo, ver figura 26. Los componente por su parte quedan parcialmente limpios, ver figuras 27, 28 y 29.

Figura 24

Retiro del componente metálico

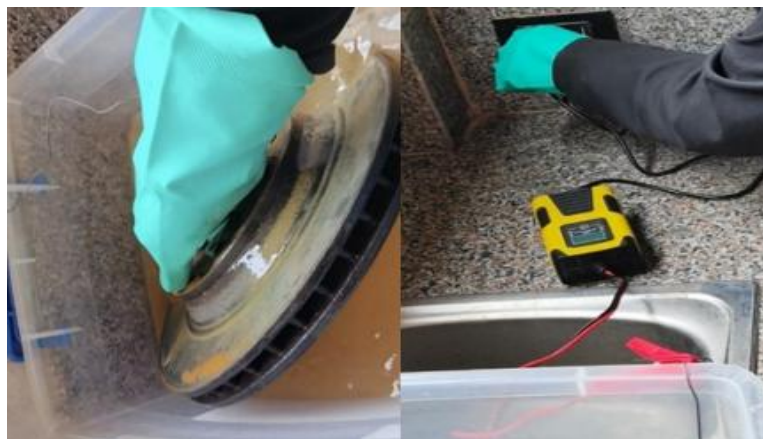


Figura 25

Limpieza del componente



Figura 26

Antes y después de la correa de acero sacrificada



3.6.7 Resultados obtenidos: antes y después del proceso

Figura 27

Disco de freno antes y después del de electrólisis convencional



Figura 28

Plato de presión antes y después del método de electrólisis convencional



Figura 29

Árbol de leva antes y después del método de electrólisis convencional



3.7 Proceso de implementación del método de electrólisis inversa

Figura 30

Diagrama de el proceso de electrolisis inversa



Fuente: (dreamstime, 2025).

3.7.1 Materiales utilizados en el método electrólisis inversa

- Agua.
- Fuente de corriente continua (Cargador de batería Modelo C9305): 12 V / 2 A.
- Gramera digital de precisión: con capacidad de hasta 3 kg.
- Balanza digital industrial: con capacidad de hasta de 40 kg.
- Componente de sacrificio (correa de acero).
- Recipiente plástico industrial de 20 L de capacidad.

- Bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
- Equipos de protección personal (EPP): gafas de seguridad y guantes de nitrilo.

3.7.2 Paso 1: preparación del área de trabajo

En el análisis de la electrólisis inversa como método desoxidante de componentes automotrices, se seleccionaron estas piezas para demostración; tras el proceso, no se volverán a utilizar: disco de freno, plato de presión de embrague y árbol de levas.

Se eligió un espacio amplio para evitar que el componente llegue a tener riesgos al momento de realizar la electrólisis inversa, ya que se trabaja con una mayor liberación de gases y posible ataque al metal base en espacios cerrados.

Se empiezan a liberar vapores o gases que se concentran, causando problemas respiratorios o intoxicación; por este motivo, se utilizó en todo momento el equipo de protección personal. Se llenó la bandeja plástica con agua suficiente para cubrir el componente mediante un remojo prolongado con bicarbonato de sodio (NaHCO_3 , 100 g), disuelto en agua (10 L), que liberaron iones que permiten que los 12 V / 2 A fluyan, teniendo la reacción esperada; esto se puede observar en la figura 31.

Figura 31

Correas sacrificada de acero después del proceso de electrolisis



3.7.3 Paso 2: montaje del circuito con polaridad invertida

Luego de que el componente está sumergido, se conectaron las pinzas para alimentar el circuito, en el que el componente que se quiere desoxidar está conectado al polo positivo (ánodo). El polo negativo (cátodo) va conectado a la pieza que será sacrificada luego de

conectar las pinzas a pequeños alambres que lo sujetan; esto se realiza para prevenir que las pinzas tengan contacto con el agua, sufriendo también el proceso de electrólisis.

Se revisó que esté conectado de forma correcta, enchufando el cargador e iniciando el proceso de electrólisis inversa, transcurriendo un tiempo (2 horas) en el que el componente estuvo en reposo; esto se puede observar en la figura 32.

Figura 32

Correas sacrificada de acero después del proceso de electrolisis



3.7.4 Paso 3: retiro del componente y monitoreo del proceso

Antes de retirar el componente, se desenchufó el cargador que alimenta el circuito eléctrico para prevenir chispas (arcos eléctricos). Durante la electrólisis inversa se generan gases hidrógeno y oxígeno, que son altamente explosivos; un pequeño arco eléctrico puede encender la mezcla de gases provocando una explosión.

Luego de tomar las precauciones debidas, sacamos los componentes del recipiente plástico, extrayendo cuidadosamente la pieza con guantes y pinzas para su limpieza respectiva; esto se puede observar en la figura 33.

Figura 33

Componente sumergido



3.7.5 Paso 4: finalización del proceso de electrólisis inversa

Se procedió al enjuague del componente con abundante agua para eliminar partículas de óxido disueltas, aplicando inmediatamente un inhibidor de corrosión (WD-40) sobre toda la superficie para prevenir la formación acelerada de óxido, fenómeno común debido a que el bicarbonato desprendió la capa de óxido viejo, dejando el hierro puro expuesto. El hierro funciona como una esponja, reaccionando de forma rápida con el oxígeno del aire y la humedad ambiental, provocando que este, al no ser cubierto con un limpiador, empiece a sufrir de oxidación acelerada, ver figura 34.

Luego del proceso, se visualizó el estado de la correa de acero que fue sacrificada, observando a simple vista cómo esta no se encuentra cubierta del óxido residual del componente automotriz, ver figura 35.

Se realizó la comparación del componente automotriz que debía quedar limpio; se evidenció que, por el contrario, este tuvo un aumento en la capa de óxido en algunas zonas.

La correa de acero salió mucho más limpia de lo que ingresó; esto fue ocasionado porque, al momento de invertir la polaridad, la correa de acero (sacrificio) se convirtió en el cátodo (-). Al recibir el polo negativo, esta pieza atrajo los cationes metálicos y el hidrógeno del proceso. La correa de acero recibió una limpieza electrolítica y posiblemente una capa de protección (galvanoplastia accidental); por esta razón, salió mucho más limpia después del proceso, ver figuras 36, 37 y 38.

Figura 34

Limpieza del componente



Figura 35

Correas sacrificada de acero antes y después del proceso de electrólisis inversa.



3.7.6 Resultados Obtenidos: antes y después del proceso

Figura 36

Plato de presión de embrague antes y después del método de electrólisis inversa

**Figura 37**

Árbol de leva antes y después del método de electrólisis inversa



Figura 38

Disco de freno antes y después del método de electrólisis inversa



Capítulo IV

Análisis de resultados

Al momento de analizar los resultados, se examinaron los datos obtenidos en la fase experimental, donde se evaluaron tres métodos de restauración y desoxidación en componentes automotrices: inmersión en bicarbonato de sodio, electrólisis convencional y electrólisis inversa. El análisis tiene como objetivo determinar la eficacia de cada método mediante el pesaje de cada uno de los componentes: discos de freno, platos de presión de embrague y árboles de levas.

Para garantizar la validez de los resultados obtenidos, se presentaron tablas de desempeño que muestran la relación entre el tiempo de proceso, el consumo energético y la integridad del metal base. Este análisis no solo permite identificar el método con mejor eficacia al momento de remover el óxido, sino que también evalúa la viabilidad económica y operativa dentro de los talleres de restauración automotriz en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, ver tabla 1.

4.1 Resultados de la remoción de óxido en el método de bicarbonato de sodio

Tabla 1

Efectividad en la remoción de óxido por inmersión en bicarbonato de sodio (peso en lb)

Componente	Tiempo de ensayo (horas)	Peso Antes (lb)	Peso Después (lb)	Perdida de masa (lb / %)
Plato de Presión de embrague	20 horas	6.985	6.975	0.010 lb / 0.143%
Disco de freno	20 horas	13.955	13.945	0.010 lb / 0.072%
Árbol de levas	20 horas	2.640	2.630	0.010 lb / 0.379%

Nota. La pérdida de masa registrada en cada componente metálico

corresponde exclusivamente a la remoción de la capa de óxido.

4.1.1 Análisis de resultados obtenidos

La pérdida de masa es parecida (0.010 lb) en las tres piezas, lo que indica que la cantidad de óxido removido fue similar en términos absolutos.

En términos porcentuales, el árbol de levas mostró la mayor remoción relativa (0.379 %), seguido del plato de presión (0.143 %) y el disco de freno (0.072 %). Esto se explica por la diferencia en masa total de cada componente: piezas más ligeras presentan mayor porcentaje de pérdida, aunque la cantidad absoluta de óxido sea comparable.

El método demostró ser efectivo para óxido superficial y moderado, pero limitado en profundidad, ya que la remoción promedio fue baja (< 0.4 %).

4.1.2 Ventajas y limitaciones observadas

Ventajas: El método de inmersión por bicarbonato tiene como ventaja un menor costo de insumos; no es necesaria la electricidad, es un proceso pasivo (poca intervención manual durante las 20 horas), seguro y no agresivo con el metal base.

Limitaciones: Este método tiene un tiempo prolongado (20 horas), remoción limitada en óxidos gruesos o incrustados, necesidad de cepillado manual posterior y alto riesgo de oxidación acelerada si no se seca y protege inmediatamente la pieza.

4.2 Resultados del método de electrólisis convencional

Tabla 2

Efectividad en la remoción de óxido en la electrolisis convencional (pesos en lb)

Componente	Tiempo de ensayo (horas)	Peso antes (lb)	Peso después (lb)	Perdida de masa (lb / %)
Plato de Presión de embrague	5 horas	6.985	6.965	0.020 lb / 0.286%
Disco de freno	8 horas	13.955	13.935	0.020 lb / 0.143%
Árbol de levas	5 horas	2.640	2.620	0.020 lb / 0.758%

Nota. La pérdida de masa registrada en cada componente metálico corresponde exclusivamente a la remoción de la capa de óxido.

4.2.1 Análisis de los resultados obtenidos

La pérdida de masa fue constante y exactamente el doble (0.020 lb) que en el método de bicarbonato (0.0010 lb), demostrando una mayor efectividad en la remoción de óxido. En términos porcentuales, el árbol de levas presentó la mayor remoción relativa (0.758 %), seguido del plato de presión (0.286 %) y el disco de freno (0.143 %), debido a la diferencia en masa inicial de cada componente, ver tabla 2.

El proceso generó la formación de "lodo negro" característico, indicador de que el óxido se redujo a partículas sueltas de hierro metálico y se desprendió eficientemente sin atacar el metal base sano.

Los tiempos más cortos (5-8 horas), comparados con las 20 horas del bicarbonato, confirman una reacción química acelerada por la corriente eléctrica.

4.2.2 Ventajas y limitaciones observadas

Ventajas: cuenta con una mayor remoción de óxido en una menor cantidad de tiempo, acceso efectivo a zonas internas y difíciles (lóbulos del árbol de levas, canales de ventilación del disco), conservación del metal base, y un proceso controlable y reproducible.

Limitaciones: una de sus limitaciones es que necesita de un equipo eléctrico y configuración inicial; genera gases (hidrógeno), necesita monitoreo periódico del ánodo de sacrificio y precauciones de seguridad para evitar riesgos eléctricos o explosivos.

4.3 Análisis de los resultados obtenidos

En este proceso, todas las piezas presentaron un aumento en su masa (+0.010 lb reales). Este fenómeno se debe a la inversión de polaridad: ya que se conectó la pieza al polo positivo, esta actúa como ánodo y sufre de oxidación acelerada. Los iones de hierro se disuelven en la solución y, posteriormente, forman una nueva capa de óxido sobre la superficie, generando una costra adicional.

En términos porcentuales, el árbol de levas mostró la mayor ganancia relativa (+0.379 %), seguido del plato de presión (+0.143 %) y el disco de freno (+0.072 %), consistente con la diferencia de masa inicial. Visualmente, los componentes presentaron mayor oxidación superficial, confirmando corrosión en lugar de limpieza, ver tabla 3.

4.3.1 Análisis de los resultados obtenidos

Tabla 3

Efectividad en la remoción de óxido en la electrólisis inversa (pesos en lb)

Componente	Tiempo de ensayo (horas)	Peso antes (lb)	Peso después (lb)	Pérdida de masa (lb / %)		
Plato de presión de embrague	2 horas	6.985	6.995	+0.010	lb	/
				0.143%		
Disco de freno	3 horas	13.955	13.965	+0.010	lb	/
				0.072%		
Árbol de levas	50 minutos	2.640	2.650	+0.010	lb	/
				0.379%		

Nota. Esta tabla muestra el aumento de masa en libras; esto se debe al proceso de electrólisis inversa. Su tiempo varía dependiendo del tamaño del componente, por eso los tiempos no son los mismos.

4.3.2 Implicaciones y limitaciones observadas

El método analizado no es adecuado para la limpieza de piezas funcionales, ya que provoca una pérdida irreversible de material metálico sano y la reducción de tolerancias críticas. Solo es útil con fines didácticos para demostrar la corrosión electroquímica acelerada.

Tiene como limitación un alto riesgo de daño permanente a las piezas, generando intensos gases explosivos; fue necesario el análisis de los componentes por tiempos muy cortos para evitar su destrucción total, dando resultados no reproducibles para restauración.

4.4 Descripción general de los insumos y costos recurrentes

Los tres métodos utilizaron la misma cantidad de insumos (100 g de bicarbonato de sodio) disueltos en 10 litros de agua como solución electrolítica. El precio por componente se mantiene constante en USD 1,05, lo que representa un recurrente principal, ver tabla 4.

El bicarbonato de sodio es económico y disponible en cualquier parte de la ciudad de Guayaquil. Precios referenciales en Guayaquil (2025-2026) oscilan entre \$0,90–\$0,95 por kg al por mayor; el agua potable se encuentra a un precio accesible (< \$0,05 por 10 L).

4.4.1 Descripción general de los insumos y costos recurrentes

Tabla 4

Costos asociados

Métodos	Insumo	Cantidad por pieza	Costo por pieza (USD)	Costo inicial equipo (USD)
Inmersión en Bicarbonato	Bicarbonato (100g) + Agua (10 L)	100 g + 10 L	1,05	0.00
Electrólisis Convencional	Bicarbonato (100 g) + Agua (10 L) + Cargador	100 g + 10 L	1,05	16.00 (cargador, amortizable)
Electrólisis Inversa	Bicarbonato (100g) + Agua (10 L) + Cargador	100 g + 10 L	1,05	16.00 (cargador, amortizable)

Nota. Esta tabla representa la relación entre la inversión inicial y los gastos operativos en cada uno de los procesos.

4.4.2 Consideraciones económicas

Para una mínima cantidad de componentes a desoxidar, la inmersión en bicarbonato es la opción más económica y accesible. En los procesos pasivos, este método necesita de un tiempo más prolongado (20 horas de inmersión) y requiere una menor intervención humana, a diferencia de los métodos de electrólisis convencional e inversa, ver tabla 4.

Se recomienda la utilización de la electrólisis convencional, ya que dio un resultado más rentable por la amortización del equipo y, principalmente, por su alta efectividad al momento de remover el óxido.

4.5 Metodología de calculo de consumo

Consumo en Ah = Corriente (1.5 A) × Tiempo de proceso (horas).

Consumo en kWh = Potencia (0.018 kW) × Tiempo de proceso (horas).

Costo eléctrico = Consumo en kWh × \$0.1061/kWh

4.5.1 Consumo eléctrico de los métodos electrolíticos

Tabla 5

Consumo eléctrico

Método	Componente	Tiempo de Prueba	Consumo (kWh)	Consumo (Ah)	Costo eléctrico (USD)
	Disco de freno	8 horas	0.173 kWh	14.4 Ah	0.018
Electrólisis Convencional	Plato de presión de embrague	5 horas	0.108 kWh	9.0 Ah	0.011
	Árbol de levas	5 horas	0.108 kWh	9.0 Ah	0.011
	Disco de freno	3 horas	0.065 kWh	5.4 Ah	0.007
Electrólisis Inversa	Plato de presión de embrague	2 horas	0.043 kWh	3.6 Ah	0.005
	Árbol de levas	50 minutos	0.018 kWh	1.5 Ah	0.002
Inmersión en Bicarbonato	Componentes ensayados	20 horas	0 kWh	0 Ah	0.000

Nota. Los datos de consumo demuestran que los métodos electrolíticos son energéticamente eficientes, con costos operativos eléctricos menores a un centavo de dólar (\$0.01) por pieza en la mayoría de los ensayos.

4.5.2 Análisis de los resultados del consumo

El consumo máximo se registró en la electrólisis convencional para el disco de freno (0.173 kWh / 14.4 Ah), debido a su mayor tiempo de proceso (8 horas).

La electrólisis inversa presentó consumos significativamente menores (máximo 0.065 kWh), explicado por tiempos más cortos (2-3 horas y 50 minutos).

El costo eléctrico por pieza es extremadamente bajo, teniendo un precio máximo de \$0.018 (menos de 2 centavos de dólar), gracias al bajo consumo del cargador y la tarifa subsidiada en Ecuador.

El método de inmersión en bicarbonato tiene un nulo consumo eléctrico, siendo el más eficiente energéticamente, aunque en su proceso de limpieza fue necesario un mayor tiempo a comparación de los métodos electrolíticos (inversa y convencional), ver tabla 5.

4.5.3 Implicaciones económicas y prácticas del consumo eléctrico

El impacto económico del consumo eléctrico es mínimo (< \$0.02 por pieza en el peor caso), lo que no representa una barrera para la implementación de métodos electrolíticos en talleres automotrices ecuatorianos.

El método de electrólisis convencional consume más energía que la inversa; sin embargo, esta diferencia es compensada por su mayor efectividad al momento de remover el óxido.

El costo energético favorece la viabilidad de los métodos electrolíticos, especialmente en un contexto de tarifas subsidiadas como el ecuatoriano, donde el gasto eléctrico no afecta la relación costo-beneficio global.

Conclusiones

El análisis experimental permitió evaluar y comparar los tres métodos de desoxidación para componentes automotrices metálicos (árbol de levas, plato de presión de embrague y disco de freno), para ser utilizados en talleres de restauración. Los principales resultados obtenidos del análisis son los siguientes:

El método de inmersión en bicarbonato de sodio resultó efectivo para óxido superficial, logrando desprender una masa constante de 0.010 lb en un lapso de 20 horas. Este método destaca por su fácil ejecución, menor costo de insumos y su nula utilización de electricidad; sin embargo, presenta una remoción limitada en óxidos profundos y un mayor riesgo de oxidación acelerada al no aplicarse protección inmediatamente al finalizar las pruebas.

La electrólisis convencional se posicionó como el método más efectivo y seguro, llegando a duplicar la remoción de óxido con una pérdida de masa de 0.020 lb en un menor tiempo (5 a 8 horas). Este resultado es generado por la reducción electroquímica del óxido en conjunto con la formación de lodo negro, que logra desprender el óxido sin atacar el metal base.

La electrólisis inversa demostró no ser eficiente al momento de remover el óxido, generando una ganancia de masa constante de +0.010 lb en tiempos cortos (50 minutos a 3 horas). Estos resultados confirman que maneja un proceso destructivo y su utilidad está limitada a demostraciones didáctica.

En lo económico, el consumo eléctrico de los métodos electrolíticos resultó mínimo (máximo 0.173 kWh y \$0.018 por pieza, a la tarifa subsidiada de \$0.1061/kWh). Los costos de mano de obra fueron más favorables para la electrólisis convencional (\$18.00 - \$22.50 a razón de \$15/hora), en comparación con la inmersión en bicarbonato (\$30.00 - \$37.50). Los resultados obtenidos de la electrólisis convencional resaltan como la opción de mayor efectividad y con mejor relación costo-beneficio en talleres de restauración de la ciudad de Guayaquil.

Recomendaciones

Se aconseja, con base en los resultados obtenidos, la utilización de la electrólisis convencional como el método estándar de desoxidación en talleres de la ciudad de Guayaquil. Este método ofrece la mejor relación costo-beneficio al duplicar la remoción de óxido (0.020 lb) en tiempos eficientes (5 a 8 horas). Esto garantiza la preservación de las tolerancias en piezas como el árbol de levas y minimiza los gastos operativos, con un costo eléctrico máximo de \$0.018 por cada componente.

Se sugiere optimizar la rentabilidad de la mano de obra mediante la transición de métodos pasivos a electrolíticos, ya que el análisis determinó que la electrólisis convencional reduce directamente el costo por tiempo de ejecución frente a la inmersión en bicarbonato. Se prioriza la utilización de cargadores de batería de bajo costo como una inversión inicial amortizable que elimina la dependencia de insumos químicos costosos.

Se debe implementar protocolos obligatorios de protección anticorrosiva post-tratamiento, aplicando inmediatamente inhibidores de corrosión (WD-40) sobre la superficie desoxidada para proteger el componente. Esta medida es necesaria para evitar el fenómeno de oxidación acelerada provocado por la alta humedad y salinidad del ambiente, que ataca de forma directa el hierro puro expuesto tras la remoción de la capa de óxido.

Es importante establecer normativas de seguridad y criterios técnicos de finalización, priorizando la utilización de espacios ventilados y equipo de protección personal para evitar los riesgos por gases explosivos generados en la electrólisis convencional e inversa.

Se sugiere utilizar el indicador visual del "lodo negro" para dar como finalizado el proceso a tiempo y prohibir la utilización de la electrólisis inversa en piezas funcionales, dado que su carácter destructivo genera pérdidas económicas al degradar el metal base, produciendo que este quede inutilizable.

Referencias

- Ahmad, Z. (2024). *Advanced corrosion engineering: Mechanisms and control* (2.^a ed.). Elsevier.
- Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (2022). *Electrochemical methods: Fundamentals and applications* (3.^a ed.). Wiley.
- Bayon, A., Perry, J., Jones, T. W., Coronado, J. M., & Done, Scott W. (2022). *Thermodynamic Analysis of a Novel Two-Step High Temperature Thermo-Electrochemical Water Splitting*. SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4255452>
- Benavides Proaño, D. F., & Egüez Ortega, A. J. (2012). *Análisis de los ángulos de corte y materiales referentes a una rectificadora "Van Norman 103" de discos y tambores para vehículos livianos* [Tesis de pregrado, Universidad Internacional de Ecuador]. Repositorio Digital UIDE. <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/746>
- Broomfield, J. P. (2023). *Corrosion of steel in industrial environments: Restoration and monitoring*. CRC Press.
- Cando Macas, W. D. (2019). *Diseño de diagramas de procesos en el ambiente del trabajo para el taller Angelous Road Garage* [Tesis de pregrado, Universidad Internacional de Ecuador]. Repositorio Digital UIDE. <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2965>
- Castaño, J. G., & Echeverría, F. (2025). *Corrosión y degradación de materiales en el sector automotriz* (3.^a ed.). Editorial Universidad de Antioquia.
- FisQuiWeb. (s. f.). *Electroquímica (III): Electrólisis*. IES La Magdalena. <https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Qui/Electroquimica3.pdf>
- Flowers, P., Theopold, K., Langley, R., & Robinson, W. R. (2022). *Química* (2.^a ed.). OpenStax. <https://openstax.org/books/química-2ed/pages/17-7-electrolisis>
- Flowers, P., Theopold, K., & Langley, R. (s. f.). 17.7: La electrólisis. En *Química General* (OpenStax). LibreTexts. [https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Quimica/Libro%3A_Qu%C3%ADmica_General_\(OpenSTAX\)/17%3A_La_electroquimica/17.7%3A_La_electrolisis](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Quimica/Libro%3A_Qu%C3%ADmica_General_(OpenSTAX)/17%3A_La_electroquimica/17.7%3A_La_electrolisis)

- Groover, M. P. (2024). *Principles of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (8.^a ed.). Wiley.
- Guerrero Jijón, W. S., & Pesantes Pacheco, M. A. (2019). *Optimización de la producción de energía de una celda tipo PEM* [Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Digital UPS.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18045/1/UPS-GT002814.pdf>
- Iversen, A., & Hansen, T. (2022). Electrolytic cleaning of metals: Efficiency and environmental impact. *Journal of Applied Electrochemistry*, 52(4), 511-525.
- Laverde Albarracín, C., Puente Moromenacho, E. G., Noroña Merchán, M. V., & Bustillos Molina, I. (2018). Gestión técnica de riesgos laborales en un concesionario de vehículos. *INNOVA Research Journal*, 3(9), 125-140.
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n9.2018.847>
- Morales, R., & Santacruz, J. (2023). *Manual de restauración técnica automotriz: De la química a la práctica*. Editorial Politécnica.
- Ningshen, S., & Kamachi Mudali, U. (2022). *Corrosion science and technology: Mechanism and control*. Alpha Science International.
- Robert, L. (2026). Digitalization and cost control in restoration workshops. *International Journal of Automotive Management*, 14(1), 88-102.
- Universidad de Palermo. (s. f.). *La electrólisis, un proceso básico para la vida moderna* [Material didáctico].
<https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT7/7CyT%2011.pdf>
- Zeng, Y., & Turner, S. (2024). *Practical electrochemistry for metal finishing*. Springer Nature.
- Escuela Politécnica Nacional. (s.f.). *Corrosión y degradación de los metales* (Informe técnico No. CD-0553). Repositorio Digital EPN.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2771/1/CD-0553.pdf>