

Sistema experto para la clasificación de corrosión mediante el uso de procesamiento de imágenes en los materiales metálicos

Expert system for the classification of corrosion through the use of image processing in metallic materials

Katia Álvarez-Hernández¹, Alberto-Alfonso Aguilar-Lasserre¹, Rubén Posada-Gómez¹,
Magno-Ángel González-Huerta¹, Constantino-Gerardo Moras-Sánchez¹

¹ Tecnológico Nacional de México – IT de Orizaba, Veracruz, México.

Recibido: 31-10-2023
Aceptado: 07-12-2023

Autor corresponsal: alberto.al@orizaba.tecnm.mx

Resumen

La corrosión es la consecuencia natural de la existencia temporal en un metal, por la que sin importar cuanto se cuide o se trate, tenderá a pasar por el proceso de oxidación, a su vez la corrosión puede ser derivada dependiendo de los tipos de metales o aleaciones del material. En términos generales se pueden identificar distintos tipos de corrosión como por ejemplo la generalizada, por picaduras localizada, galvánica, intergranular, bajo tensión, por fatiga, por dealeado, entre otras; sin embargo, algunos tipos de corrosión para identificarse es necesario la implementación de herramientas que permitan ver muy de cerca la estructura con las que cuentan o se deberá de hacer uso de instrumentos especializados que permitan medir el grado de corrosión. El presente trabajo aporta el desarrollo de un sistema experto que permite la clasificación de tipos de corrosión en láminas metálicas, este sistema se basa en técnicas de procesamiento de imágenes, a su vez de técnicas de binarización, aplicación de capas gaussianas, detección de bordes, entre otros, para poder extraer información de dichas imágenes y con base a esto desarrollar un algoritmo que permita la clasificación y posteriormente el desarrollar una interfaz gráfica, la cual será la que se muestre al usuario que haga uso de este sistema. Finalmente, se valida el sistema con una eficiencia del 90% de assertividad del total de las pruebas de imágenes que fueron procesadas.

Palabras clave: Corrosión de materiales metálicos, Procesamiento de imágenes, Clasificación, interfaz Gráfica.

Abstract

Corrosion is the natural consequence of the temporary existence in a metal, matter how much care is taken or treated, it will tend to go through the oxidation process, also the corrosion can be derived depending on the types of metals or alloys of the material. In general terms, different types of corrosion can be identified, such as generalized, localized pitting, galvanic, intergranular, under stress, fatigue, dealing, etc; However, some types of corrosion to identify it is necessary to implement tools that allow to see the structure very closely or it is necessary to use specialized instruments that allow measuring the degree of corrosion. The present work contributes the development of an expert system that allows the classification of types of corrosion in metal sheets, this system is based on image processing techniques, binarization techniques, application of layers Gaussian, edge detection, etc, for the purpose to extract information from said images and based on this develop an algorithm that allows classification and then develop a graphical interface, which will be shown to the user who makes use of this system. Finally, the system is validated with an efficiency of 90% of assertiveness of the total image tests that were processed.

Keywords: Corrosion of metallic materials, Image proccessing, Classification, Graphical interface.

Introducción

A lo largo del tiempo se han realizado estudios sobre los materiales metálicos y como es que se ven afectados por la corrosión, de igual forma se ha visto involucrada la tecnología para la detección de anomalías en los metales o materiales que deben ser empleados para la elaboración de piezas que a su vez serán parte de algún equipo o estructura, los cuales estarán expuestos a distintos ambientes que pasado de un tiempo pueden verse afectados, generando distintos tipos de corrosión, que si no es tratada con anticipación puede generar pérdidas tempranas de dichos equipos e inclusive provocar accidentes.

La corrosión consiste en la reacción química (oxidación seca) o electroquímica (oxidación húmeda) entre un material y su entorno que produce un deterioro del material y de sus propiedades (Baboian, 2005).

Con referencia a la corrosión en metales, se consideró importante mencionar algunas de las aportaciones significativas de este tema, destacando el proyecto “Aplicación del procesamiento digital de imágenes para la determinación de las causas que provocan fallas en el acero al Carbono SAE 1018” el cual tenía la finalidad de buscar aquellas causas que provocan fallas en el acero y en el que se empleó el procesamiento digital de imágenes, capturadas por medio de microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos X. Obteniendo como resultado que la baja calidad de la materias primas y el proceso de manufactura generan daños (fisuras) en la estructura de este material, descartando así la causa de corrosión (Bolaños y otros, 2013).

Por otra parte, se analiza el proyecto “Evaluación de la degradación por corrosión de la barandilla de la segunda playa del sardinero, Santander, España, mediante lógica fuzzy”, en el que se empleó la inspección visual, para continuar con la captura fotográfica del estado actual y su posterior procesamiento mediante Matlab, una vez obtenidos los resultados son tratados mediante lógica difusa con apoyo de un software que indicaría los valores del grado de corrosión dependiendo de la zona de estudio y concluyendo que se deben elevar los procedimientos de mantenimiento (Arguello, 2021).

Finalmente se analiza “Effect of oxidation temperature on the corrosion response of anodic coatings on Ti6Al4V alloy” en el que además de emplear pruebas potenciodinámicas, microscopía óptica, microscopía electrónica, se emplea un análisis de imágenes a través de un tratamiento de estas, mismo que permitirá estimar los aumentos de temperatura en la capa poroso de TiO₂ que se producen en el

aumento de la resistencia a la corrosión. Obteniendo como resultado de dicha aplicación que el aumento de TiO₂ proporcionará resistencia a la corrosión a la aleación de Ti6Al4V (Orozco y otros, 2021).

Por otra parte, cuando se trata de corrosión se ven implícitos diversos factores climatológicos que de cierta manera afectaran y propiciaran el aceleramiento en dicha corrosión. El autor López (2008) destaca factores como humedad relativa, temperatura, presión atmosférica, radiación solar, precipitación pluvial, dirección de viento, velocidad del viento, entre otros.

Los tipos de corrosión sobre los cuales se trabajará serán:

Corrosión generalizada, también conocida como uniforme, se presenta sobre toda la superficie del material de forma homogénea por lo que es fácil predecir y controlar, suele presentarse de forma común en materiales que se encuentran expuestos a la atmósfera. (Salazar, 2015).

Corrosión por picaduras localizada, este suele representar un mayor riesgo potencial, ya que es más difícil de detectar, se presenta en zonas específicas del material (Salazar, 2015). Este tipo de corrosión es muy peligroso porque afecta a un sector pequeño, pero tiende a avanzar implacablemente y en profundidad (Vázquez, 2018).

Corrosión bajo tensión y por fatiga, suele ocurrir bajo la influencia combinada de un entorno corrosivo y un esfuerzo de tensión cíclico o fluctuante (Vázquez, 2018).

Corrosión por dealeado, se presenta cuando uno de los elementos de mayor afinidad con el oxígeno, se separa del material, ocasionando grietas muy pequeñas (Vázquez, 2018).

El procesamiento de imágenes corresponde al conjunto de técnicas que se aplican a ciertas imágenes con el objetivo de destacar detalles que se quieren medir o bien, eliminar de la misma (Gonzales y otros 2010). Asimismo, finalidad y objetivo de reducir el ruido o interferencia generada en su captura, a su vez de que este proceso busca mejorar la calidad de la imagen facilitando la búsqueda y extracción información que se requiera (Chen, 2005). El proceso sugerido para dicha técnica según López (2019) y Atencio (2009) consiste en la adquisición de imágenes, preprocessado, segmentación, representación y descripción, reconocimiento e interpretación y resultados.

Esta investigación se desarrolló en el CRODE de Orizaba, ubicado en el parque industrial Valle de Orizaba (PIVO) en el Estado de Veracruz, México, teniendo como objetivo la modelación del conocimiento y experiencia de expertos para la clasificación de la corrosión presente en láminas metálicas, por medio del procesamiento de imágenes, el cual permitirá determinar la existencia y el tipo de corrosión en metales para la calidad de la manufactura de piezas.

Materiales y métodos

La metodología que se desarrolla consistirá en diversas etapas, las cuales permitirán la creación del sistema experto de apoyo de decisiones que clasifique los metales de acuerdo al tipo de corrosión, dicha metodología se muestra a continuación en la (Figura 1)



Figura 1. Metodología desarrollada.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1. Adquisición y recolección de imágenes:

Previo a la adquisición de las imágenes se identifican los métales sobre los cuales se realiza todo el proceso del proyecto, en este caso se trabaja con láminas de acero ya que es el material con el que cuenta, así como este se apega más a las características generales de corrosión en metales.

Posterior a la identificación del metal se adquieren las imágenes, haciendo uso de un dispositivo móvil, y se cumplen con ciertos requisitos para la captura de las imágenes, como es mostrado a continuación (Tabla 1)

Tabla 1. Generalidades de dispositivo y características.

| Generalidades de dispositivo para captura de imágenes. | | Características para la toma de imagen |
|--|---------------------------|--|
| Marca | Xiaomi Redmi Note 10 Pro. | Ser capturada con luz natural. |
| Modelo | M2101K6G. | Evitar la existencia de variabilidad de contrastes de luz (imagen nítida). |
| Lentes | 4 | |

| | | |
|--------|--|---|
| Cámara | 108 Mpx. 8 Mpx. 5 Mpx. 2 Mpx. | Capturas fotografías a una distancia cercana sin provocar que se observe borrosa. Realizar enfoque manual. |
|--------|--|---|

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2. Clasificación de tipos de corrosión:

Los tipos de corrosión sobre los cuales se trabaja son mostrados a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Tipos de corrosión.

| Tipo de corrosión | Características |
|--|---|
| Corrosión generalizada | Se presenta sobre toda la superficie del metal de forma homogénea. Presencia de capas de herrumbre rojiza o negra. |
| Corrosión por picaduras localizada. | Se presenta en zonas específicas del metal. Existe presencia de “hoyos” o pequeños “agujeros”. |
| Corrosión bajo tensión. Corrosión-Fatiga. | Se da por esfuerzos de tensión. Presencia de agrietamiento fino y cerrado. |
| Corrosión por dealeado. | Presencia de porosidad. El elemento de mayor afinidad con el oxígeno se separa. |

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 3. Procesamiento de imágenes:

El software del cual se hace uso para el procesamiento de las imágenes capturadas es Python®, siendo mas específicos usando la herramienta de Notebook para la escritura de los algoritmos, de los cuales su ejecución será posible gracias al uso de las librerías de Open CV. En dicho software se desarrolla desde la aplicación de técnicas de procesamiento hasta la interfaz gráfica del mismo.

Por otra parte, de forma breve se describen los segmentos del algoritmo empleados para cada una de las técnicas usadas; la primera de ellas consistió en la selección y redimensión de la imagen para una mejor visualización del usuario, se continua con la determinación del ROI (Región de interés) para seleccionar el área que se desea procesar y analizar. Se da comienzo con el tratamiento de las imágenes empezando con la transición a escala de grises para tener un mejor análisis en posteriores procesamientos, se aplica una capa gaussiana con el propósito de eliminar el ruido que pueda existir en la imagen, se convierte a binario, es decir a 0 y 1 para apreciar de mejor manera las zonas que presentan corrosión (tornándose a un color blanco) mientras que las zonas sin corrosión de pintan de negro; se prosigue con

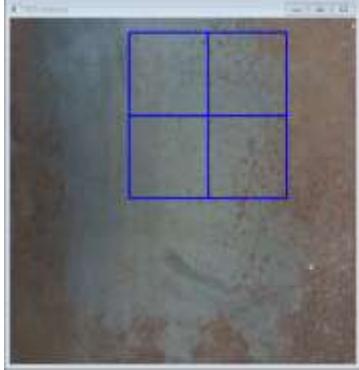
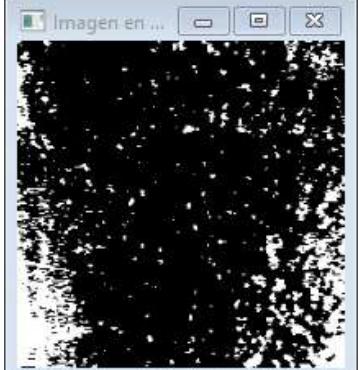
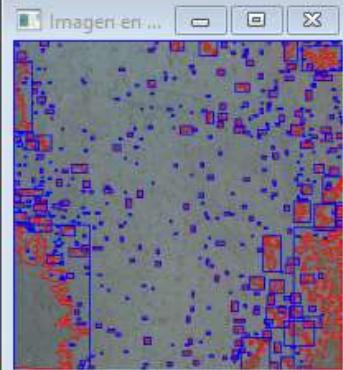
la detección de bordes o contornos a partir de los cuales se podrán identificar los tipos o variables de corrosión dependiendo de dimensiones y otros aspectos, asimismo se marcan los contornos para una mejor visualización de ubicación.

Teniendo el procesamiento de la imagen analizada, se continua con la determinación del área, la cual permitirá su posterior clasificación, dentro de los resultados arrojados se podrán apreciar áreas que cuentan con un valor nulo, esto se debe a que no se detectaron contornos cerrados, lo que se interpretan como fisuras sobre el metal.

Para dar inicio a la clasificación de corrosión generalizada y corrosión localizada con posibles picaduras, se extraen parámetros referentes al área total y el área correspondiente a las zonas que fueron detectadas con corrosión y teniendo estas áreas se trabaja sobre porcentajes, ya que se facilita su entendimiento, por lo que si el área de corrosión es mayor al 60% se trata de una corrosión generalizada, mientras que si es menor a dicho porcentaje corresponderá a una corrosión localizada.

Posteriormente para la clasificación de corrosión bajo tensión y corrosión por dealeado, se extrae el área y perímetros referentes al ROI, al igual que cuantas áreas fueron nulas y cuantas son cerradas y se hace una comparativa de las áreas que representan corrosión por tensión (teniendo fisuras de diversas dimensiones, pero la mayoría nulas) y áreas completas pero pequeñas que corresponden a corrosión por dealeado. Lo anteriormente mencionado se muestra en la (Tabla 3)

Tabla 3. Procesamiento de imagen.

| Procesamiento de imagen | | |
|--|--|--|
| Imagen original con ROI | Imagen en escala de grises | Imagen Gaussiana |
|  |  |  |
| Imagen binaria | Imagen con bordes detectados | Imagen con contornos |
|  |  |  |
| Clasificación con respecto al área: | Corrosión generalizada | |
| Clasificación por tipo: | Corrosión por dealeado. | |

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 4. Desarrollo de interfaz y prueba de sistema:

Para la creación de la interfaz gráfica se hace uso nuevamente del notebook de Python, empleando algoritmos nuevos e integrando los existentes, de esta forma se crean ventanas, subventanas, botones, etc. para que al ser ejecutado se observen algunas herramientas, así como los resultados obtenidos (Figura 2).



Figura 2. Inicio de interfaz gráfica.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de la creación de la interfaz gráfica se obtienen del procesamiento de 50 imágenes analizadas en el programa creado “CoDetect”, dichos resultados son mostrados a través de la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4 Resultados de procesamiento.

| No. de prueba | Clasificación por área. | Clasificación por tipo. | Detección adecuada |
|---------------|--|-------------------------|--------------------|
| 1 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 2 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 3 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | No |
| 4 | Sin lectura de imagen | Sin lectura de imagen | No |
| 5 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 6 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 7 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 8 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 9 | Sin lectura de imagen | Sin lectura de imagen | No |
| 10 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión bajo tensión | Si |
| 11 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 12 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |

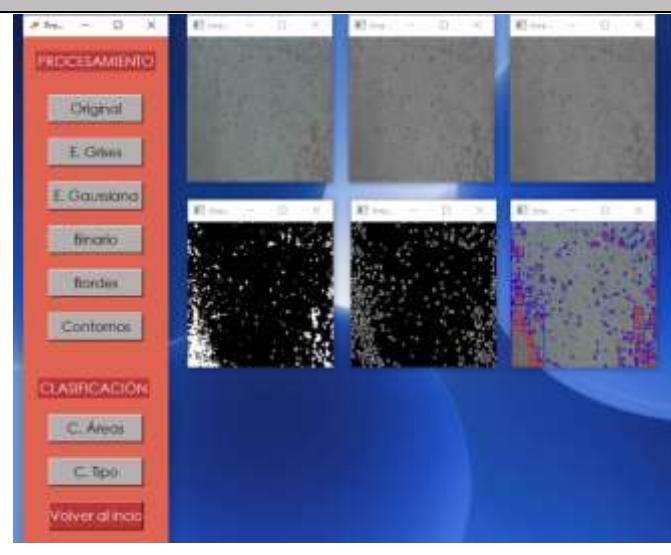
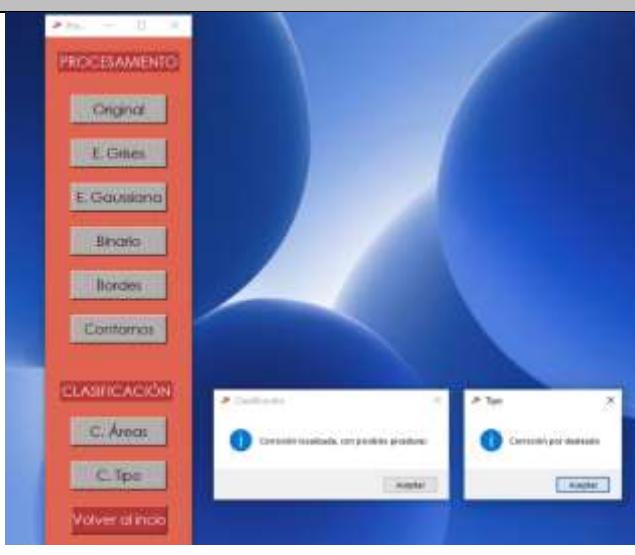
| | | | |
|----|--|------------------------|----|
| 13 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 14 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión bajo tensión | Si |
| 15 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión bajo tensión | Si |
| 16 | Corrosión generalizada | Corrosión bajo tensión | Si |
| 17 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 18 | Sin lectura de imagen | Sin lectura de imagen | No |
| 19 | Corrosión generalizada | Corrosión bajo tensión | Si |
| 20 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 21 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 22 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 23 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 24 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 25 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 26 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 27 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 28 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 29 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión bajo tensión | Si |
| 30 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 31 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 32 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 33 | Corrosión generalizada | Corrosión bajo tensión | Si |
| 34 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 35 | Corrosión generalizada | Corrosión bajo tensión | Si |
| 36 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 37 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 38 | Corrosión generalizada | Corrosión bajo tensión | Si |
| 39 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 40 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 41 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 42 | Corrosión generalizada | Corrosión bajo tensión | Si |
| 43 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 44 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión por Dealeado | Si |
| 45 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 46 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión bajo tensión | Si |

| | | | |
|----|--|------------------------|-----|
| 47 | Corrosión localizada, con posibles picaduras | Corrosión bajo tensión | Si |
| 48 | Sin lectura de imagen | Sin lectura de imagen | No |
| 49 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| 50 | Corrosión generalizada | Corrosión por Dealeado | Si |
| | | Aciertos del sistema | 45 |
| | | Fallos del sistema | 5 |
| | | Total | 50 |
| | | Eficiencia | 90% |

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la interfaz gráfica con un procesamiento realizado se observa en la siguiente imagen, en donde se plasma los resultados del procesamiento con cada una de las técnicas y la interfaz por el tipo de corrosión al que corresponde (Tabla 5).

Tabla 5. Interfaz gráfica.

| Interfaz por área | Interfaz por tipo |
|---|--|
|  |  |

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se conoce que la corrosión es un fenómeno por el que tienden a pasar todos los metales sin importar los tratamientos previos que se les apliquen, sin embargo, se puede prevenir o se puede remediar el daño, es por ello la importancia de un sistema que permita su detección, ya que a partir de este se pueden tomar las decisiones más convenientes para aplicar algún tipo de tratamiento, de ahí la creación de un sistema experto que permita al usuario la clasificación por medio de diversas técnicas de tratamiento de imágenes. Dicho software logró tener como resultado una eficiencia del 90% con la posibilidad de incrementar si se realizan modificaciones en el algoritmo, así como si se cumplen con las características solicitadas para las imágenes.

Referencias bibliográficas

- Argüello Cienfuegos, L. (2021). *Evaluación de la degradación por corrosión de la barandilla de la segunda playa del Sardinero, Santander, España, mediante lógica fuzzy*. [Tesis de mestría. Universidad de Cantabria].
- Atencio Ortíz, P. S. (2009). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL MANGO DE AZÚCAR DE EXPORTACIÓN*. [Tesis de Ingeniería. Universidad de Magdalena].

Baboian, R. (2005). *Corrosion tests and standards: Application and interpretation*. Baltimore: ASTM International.

Bolaños Rodríguez, E., González Islas, J., & Felipe Riverón, E. (2013). *Aplicación del procesamiento digital de imágenes para la determinación de las causas que provocan fallas en el acero al carbono SAE 1018*. Morelos: CIINDET.

Chen, W.-K. (2005). *The electrical engineering handbook*. Elsevier.

E. Woods, R., L. Eddins, S., & C. González, R. (2010). *Digital Image processing using MATLAB*. New Jersey: Prentice Hall Press Upper Saddle Rivee.

López Badilla, G. (Noviembre de 2008). *Caracterización de la corrosión en materiales metálicos de la industria electrónica en Mexicali, B.C.* [Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California], Baja California.

López Segura, M. V. (Junio de 2019). *Desarrollo de un sistema experto para detección de malignidad sospechosa de cáncer en biopsia de mama por aspiración con aguja fina basado en lógica difusa y procesamiento de imágenes*. [Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba], Veracruz, México.

Orozco Rodriguez, J., Fonseca Reyes, A., Márquez Santos, M., de los Ríos Trujillo, E., Escorcia Gutiérrez, J., & Soto Diaz, R. (2021). Effect of oxidation temperature on the corrosion response of anodic coatings on Ti6Al4V alloy. *PROSPECTIVA ISSN*.

Salazar Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Tecnología en Marcha.*, 127-136.

Vázquez, M. (2018). *La corrosión. El peor de los villanos cuando dominan los metales*. Mar del Plata: EUD.