

ISSN 2523-6873

Volumen 4, Número 15 — Julio — Diciembre — 2020

# Revista de Ingeniería Innovativa

**ECORFAN®**

## **ECORFAN-Perú**

### **Editor en Jefe**

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Revista de Ingeniería Innovativa**, El Volumen 4, Número 15, de Diciembre de 2020, es una Revista trimestral editada por ECORFAN-República del Perú. AV. La Raza, No 1047 - Santa Ana, Cusco-Perú, CP: 11500 [http://www.ecorfan.org/republicofperu/rj\\_ingenieria\\_innovativa.php](http://www.ecorfan.org/republicofperu/rj_ingenieria_innovativa.php), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD. ISSN: 2523-6873. Responsable de la última actualización de este problema Unidad Informática ECORFAN. Imelda Escamilla Bouchán, PhD. Vladimir Luna Soto, PhD. Actualizado al 31 de Diciembre, 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Protección de la Propiedad Intelectual.

# **Revista de Ingeniería Innovativa**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de diseño de sistemas de producción, gestión de calidad en los productos, investigación de operaciones, simulación informática, cadenas de suministros, certificación de calidad, hidrometeorología.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Revista de Ingeniería Innovativa es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de diseño de sistemas de producción, gestión de calidad en los productos, investigación de operaciones, simulación informática, cadenas de suministros, certificación de calidad, hidrometeorología con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD  
Institut National Polytechnique de Lorraine

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD  
Universidad París XI

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

## **Comité Arbitral**

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZALEZ - MARRON, David. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

ALONSO - CALPEÑO, Mariela J. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

FERREIRA - MEDINA, Heberto. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Innovativa emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

## **Detección de Plagio**

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de América-Europa-Asia-África y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Diseño de sistemas de producción, gestión de calidad en los productos, investigación de operaciones, simulación informática, cadenas de suministros, certificación de calidad, hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Efecto del tipo de acero y su acabado superficial sobre la cinética de fosfatizado con manganeso*, por GÓMEZ-MACÍAS, Josué, CONEJO-FLORES, Ricardo, GARCÍA-GONZÁLEZ, Juan Manuel y FUENTES-ACEITUNO, Juan Carlos, con adscripción en la Universidad Autónoma de Zacatecas y CINVESTAV-Saltillo respectivamente, como siguiente artículo presentamos, *Gestión del mantenimiento y la industria 4.0*, por HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Puebla, como siguiente artículo presentamos, *Control PID basado en odometría visual monocular a un vehículo de superficie marino*, por MENDOZA-RUIZ, Francisco, REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, ALAZKI, Hussain y RULLÁN-LARA, José Luis, con adscripción en la Universidad Autónoma del Carmen, como último artículo presentamos, *Evaluación de un clasificador de textos digitales basado en el contenido semántico a través de ontologías*, por HERNÁNDEZ-GARCÍA, Héctor Daniel, NAVARRETE-ARIAS, Dulce J., PÉREZ-BAUTISTA, Mario y PAREDES-REYES, Eliud, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo.

## Contenido

| Artículo  | Página |
|---|--------|
| <b>Efecto del tipo de acero y su acabado superficial sobre la cinética de fosfatizado con manganeso</b><br>GÓMEZ-MACÍAS, Josué, CONEJO-FLORES, Ricardo, GARCÍA-GONZÁLEZ, Juan Manuel y FUENTES-ACEITUNO, Juan Carlos<br><i>Universidad Autónoma de Zacatecas</i><br><i>CINVESTAV-Salttillo</i>            | 1-17   |
| <b>Gestión del mantenimiento y la industria 4.0</b><br>HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro<br><i>Universidad Tecnológica de Puebla</i>   | 18-28  |
| <b>Control PID basado en odometría visual monocular a un vehículo de superficie marino</b><br>MENDOZA-RUIZ, Francisco, REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, ALAZKI, Hussain y RULLÁN-LARA, José Luis<br><i>Universidad Autónoma del Carmen</i>   | 29-36  |
| <b>Evaluación de un clasificador de textos digitales basado en el contenido semántico a través de ontologías</b><br>HERNÁNDEZ-GARCÍA, Héctor Daniel, NAVARRETE-ARIAS, Dulce J., PÉREZ-BAUTISTA, Mario y PAREDES-REYES, Eliud<br><i>Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo</i> | 37-44  |

## Efecto del tipo de acero y su acabado superficial sobre la cinética de fosfatizado con manganeso

### Effect of the type of steel and its surface finish on the kinetics of phosphatized with manganese

GÓMEZ-MACÍAS, Josué†, CONEJO-FLORES, Ricardo, GARCÍA-GONZÁLEZ, Juan Manuel\* y FUENTES-ACEITUNO, Juan Carlos

*Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Ciencias Químicas, Programa Académico de Ingeniería Química, Campus UAZ Siglo XXI. Carretera Zacatecas - Guadalajara Km. 6, Ejido la Escondida, 98160 Zacatecas, Zac. México.*

*CINVESTAV-Salttilo, Av. Industria Metalúrgica No. 1062, Parque Industrial Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila. C.P. 25900, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Josué, Gómez-Macías* / ORC ID: 0000-0003-3180-3714, CVU CONACYT ID: 853102

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ricardo, Conejo-Flores* / ORC ID: 0000-0002-8513-1821, CVU CONACYT ID: 518968

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Juan Manuel, García-González* / ORC ID: 0000-0001-7259-5021, CVU CONACYT ID: 346241

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Juan Carlos, Fuentes-Aceituno* / ORC ID: 0000-0002-3566-2835, CVU CONACYT ID: 160396

DOI: 10.35429/JOIE.2020.15.4.1.17

Recibido Julio 10, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

#### Resumen

El objetivo de la presente investigación, es estudiar el proceso de fosfatizado con manganeso por inmersión. En la literatura no existe información suficiente al proceso de fosfatizado con fosfato de manganeso, ahí la principal aportación del presente objeto de estudio. Desde el marco metodológico se involucra un estudio electroquímico, mediante técnicas de potencial de circuito abierto con el fin de seguir la cinética del proceso. De igual forma se realizó la caracterización del recubrimiento formado sobre la superficie de cada acero utilizado, empleando microscopía electrónica de barrido y espectroscopía por dispersión de energía de Rayos-X. A través de esta técnica se encontró el tiempo en el cual se desarrolló la capa interna del recubrimiento en los sustratos fosfatizados, tanto en las caras desbastadas como en las caras no desbastadas de las muestras de acero. Los resultados que se obtienen muestran que la formación del recubrimiento de fosfatos de manganeso en los aceros depende tanto del tamaño de grano de los aceros en un inicio del proceso, así como del acabado superficial al cual sea sometido la superficie del acero, dando como resultado un incremento del tamaño de los cristales, y afectando la velocidad de desintegración y crecimiento de los mismos.

#### Acero, Fosfatizado, Manganeso

#### Abstract

The objective of this work is to study the process of phosphatizing with manganese by immersion. In the literature there is not enough information on the phosphate process with manganese phosphate, hence the main contribution of the present. The methodology involves an electrochemical study, using open circuit potential techniques in order to follow the kinetics of the process. In the same way, the characterization of the coating formed on the surface of each steel used was carried out using scanning electron microscopy and X-ray energy dispersion spectroscopy. Through this technique, the time was found in which the internal layer of the coating developed on the phosphatized substrates, both on the rough and the rough sides of the steel samples. The results obtained show that the formation of the manganese phosphate coating on the steels depends both on the grain size of the steels at the beginning of the process, as well as on the surface finish to which the steel surface is subjected, resulting in an increase in the size of the crystals, and affecting the rate of disintegration and growth of the same.

#### Steel, Phosphatized, Manganese

**Citación:** GÓMEZ-MACÍAS, Josué, CONEJO-FLORES, Ricardo, GARCÍA-GONZÁLEZ, Juan Manuel y FUENTES-ACEITUNO, Juan Carlos. Efecto del tipo de acero y su acabado superficial sobre la cinética de fosfatizado con manganeso. Revista. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-15:1-17.

\* Correspondencia del Autor (jmgarcia@uaz.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El acero es un tipo de aleación férrea conformada principalmente de hierro-carbono. Es uno de los materiales estructurales primordiales para el desarrollo de la vida humana, presentando un mayor interés en el área de la construcción, fabricación de automóviles y línea blanca. Para que el acero presente una alta resistencia a la deformación mecánica, alta dureza (resistencia a la penetración), bajo desgaste por fricción, resistencia a la corrosión, entre otros, éste debe ser sometido a procesos químicos o físicos para que adquiera todas o ciertas características que van de acuerdo a la aplicación que se le confiera [1].

Los tratamientos para el recubrimiento por conversión química son el cromado, oxalatizado y el fosfatizado, al ser el fosfatizado uno de los procesos más empleados en la industria, además es aplicable en superficies ferrosas o no ferrosas. Existen diferentes tipos de fosfatizado: zinc, hierro y manganeso, estos recubrimientos se pueden aplicar en la superficie del sustrato por medio de dos procesos: aspersión e inmersión en los que se involucran, etapas previas y posteriores al fosfatizado como desengrasado, decapado, activación, enjuagues intermedios, entre otros [2].

Su uso habitual es en la industria automotriz como base de pinturas para incrementar la protección a la corrosión y en la industria petrolera. Todo esto debido al aspecto económico, así como la velocidad de operación y la habilidad de aumentar la resistencia ante la corrosión del material, resistencia al desgaste adhesivo y aumentando la lubricación y la adhesión de películas posteriores al tratamiento [3].

Todas las soluciones convencionales de fosfatizado son soluciones de uno o más metales alcalinos disueltos en ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). En esencia, estas soluciones contienen ácido fosfórico libre y fosfatos primarios de los iones del metal contenido en el baño. Las tres series de sales de fosfato que pueden formarse con un metal univalente (Me) son las siguientes:  $MeH_2PO_4$  primario,  $Me_2HPO_4$  secundario y el  $Me_3PO_4$  terciario [4].

López (2008), explora el efecto que tienen las sales de titanio en las características de los recubrimientos de fosfato mediante estudios de distribución del agente activador y de los cristales de fosfato. Pudo distinguir, mediante el seguimiento de la evolución del tamaño de los cristales con el tiempo, que el proceso de formación de los recubrimientos contempla etapas de nucleación, crecimiento, traslape y redisolución de los cristales de fosfato a lo largo del proceso [5]. Cruz (2010), realizó fosfatizado de cinc y manganeso sobre acero 304 sensibilizado, recupera y demuestra que se incrementa en forma considerable la adherencia entre el sustrato y el recubrimiento anticorrosivo [6]. Onofre *et al.* (2010), aplica un proceso por inmersión de placas de acero AISI 1010 bajo el empleo de una solución fosfatante comercial (ácido fosfórico y sulfato de manganeso).

Generaron una película de conversión de 1 a 2  $\mu m$ , con un incremento a la resistencia a la corrosión [7]. Alvarado (2017), Llevó a cabo un estudio del proceso de fosfatizado electroquímico de acero AISI SAE 1018, mediante las técnicas electroquímicas de voltamperometría cíclica (VC) y cronoamperometría (CA).

Determinó que la respuesta cronoamperométrica corresponde a una suma de 4 contribuciones, relacionadas con la adsorción de iones fosfato, disolución de Fe, crecimiento 2D de una película conductora de  $FePO_4(s)$  y el crecimiento 3D de esta misma película con características menos conductoras [8]. Calle (2019), estudió el proceso de fosfatizado por inmersión en caliente para determinar la masa de fosfato de zinc depositado sobre la superficie de placas de acero en el que se trabajó con concentraciones de la solución de 4, 5 y 6 % v/v, temperaturas del baño de 60, 70 y 80 °C y tiempos de inmersión de 60, 120 y 180 s [9]. Romero *et al* (2019), demostraron la efectividad de las pinturas de poliuretano para la protección contra la corrosión del acero galvanizado [10].

Menor de Gaspar (2020), determinó la influencia del método de corte en las propiedades de tracción al hacer agujeros en componentes de acero destinados a uniones atornilladas [11]. Flores (2020), analizó la precipitación y el engrosamiento de la fase cementita en un acero ultrabajo carbono POSCO CWA0802 [12].

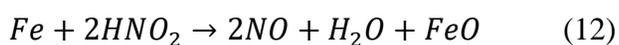
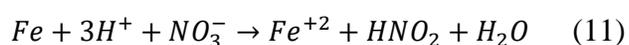
Madariaga *et al* (2020), evaluaron los efectos causados por la aplicación de flux de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{SiO}_2$  sobre la morfología del cordón, los parámetros operacionales y la estabilidad del proceso, en unas soldaduras GMAW aplicadas sobre un acero AISI/SAE 1020 [13]. Fernández *et al* (2020), analizaron el efecto del calor producto de la soldadura en las variaciones microestructurales de una unión disímil de acero endurecible por precipitación, del tipo 17-4 PH (AISI 630) y la superaleación Hastelloy C-276 (B 574) [14].

### Mecanismo de fosfatizado

Una de las más grandes aportaciones al estado del conocimiento para aclarar el mecanismo del fosfatizado la realizó W. Machu [15], él fue el primero en considerar el fosfatizado como un proceso electroquímico y topoquímico. Debido a este enfoque se encontró un gran avance para explicar la cinética del proceso, el efecto de acelerantes de las reacciones de oxidación y reducción y la influencia de tratamientos en la superficie metálica previos al fosfatizado.

Otros investigadores asumen que la precipitación de los fosfatos insolubles se produce en regiones anódicas del metal debido a la importante concentración de iones metálicos en la zona anódica, mientras que Machu y otros autores sostienen que la precipitación se produce sólo en las zonas catódicas donde hay un cambio importante de pH debido a la descarga de iones de hidrógeno [10]. Por otro lado, Krutivov supone que, en las primeras etapas de tratamiento, hay una formación de una película delgada de fosfatos en las zonas anódicas que luego se convierten en zonas catódicas. Por consiguiente, la descarga de los iones de hidrógeno en las zonas catódicas da lugar a la formación de partículas coloidales que conducen a la precipitación de cristales de fosfato en los cátodos [15].

Gilbert supone que, durante el fosfatizado en un baño que contenga nitratos como acelerantes, se puede formar óxido de hierro II (FeO) en la interfase metal-disolución de acuerdo con la siguiente reacción [14, 15]:



De acuerdo con investigaciones realizadas por Ghali (1972) en el ámbito del fosfatizado de aceros, se encontró que el mecanismo de fosfatizado con zinc se realiza en cuatro etapas: ataque electroquímico del acero, precipitación de amorfa, cristalización y crecimiento y finalmente reorganización cristalina [15]. Cabe mencionar que este mecanismo también ha sido aceptado para el fosfatizado con manganeso [17].

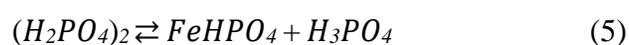
En la primera etapa, la superficie del sustrato es oxidada de Fe a  $\text{Fe}^{+2}$  para formar un fosfato primario soluble.



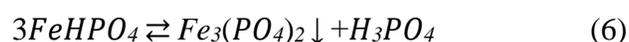
Además, cualquier óxido de la superficie será disuelto como indica la siguiente reacción [15]:



En la segunda etapa, ocurre una precipitación masiva de fosfatos debido al ataque químico en la etapa anterior, este ataque ocasiona un cambio en el equilibrio del baño fosfatizante en la interfase metal-solución. La precipitación de fosfatos sobre la superficie metálica tiene una estructura amorfa [15]. La reacción que ocurre en esta etapa es [4]:



El agotamiento de iones de hidrógeno causa la precipitación a un fosfato terciario insoluble de acuerdo con la siguiente reacción [4]:

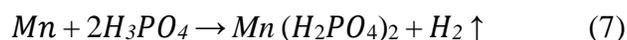


Se puede indagar en que el ataque sobre el metal no cesa por completo durante este período y que el fenómeno de precipitación se superpone al ataque. Estos fosfatos, de acuerdo a Ghali, conforman una capa primaria rica en hierro que sirve como una base de anclaje para el fosfatizado [15].

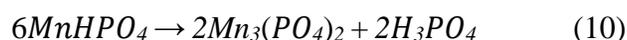
En la etapa de cristalización y crecimiento se da la formación de hopeita o hureaulita (dependiendo del constituyente principal del recubrimiento de fosfato), la cual ocurre sobre la capa de fosfatos amorfos.

Para el caso de fosfato de zinc la precipitación y crecimiento de cristales ocurre en los sitios anódicos debido a la producción de iones metálicos en el ánodo. Además, el ataque electroquímico del sustrato disminuye por el agotamiento de iones metálicos en la región anódica debido a la nucleación de cristales de fosfilita (fosfato hidratado de hierro y zinc). Conforme los ánodos se cubren con estos cristales, el ataque en el sustrato es más uniforme. Por lo tanto, esta etapa de crecimiento no es controlada por el contenido de iones metálicos ferrosos, sino por el pH local [4].

La reorganización cristalina es un fenómeno de disolución y re-precipitación de la capa de fosfato controlado por el cambio de pH en la interfase metal-disolución. Durante esta etapa, los fosfatos del recubrimiento se disuelven y se vuelven a precipitar con gran rapidez, esto se traduce en una reorganización cristalina acompañada de un descenso rápido y significativo en la porosidad llegado a ser menor del 1 % [15]. Cuando en el fosfatizado se emplea manganeso para formar un fosfato de manganeso, los cristales varían en la razón Mn/Fe manteniendo la estructura hureaulita. Las reacciones que ocurren con el manganeso son las siguientes [15]:



El  $\text{MnHPO}_4$  es ligeramente soluble, al aumentar el pH debido a la reducción del ión hidrógeno, esta especie pierde un átomo de hidrógeno, para finalmente, formar la capa externa de fosfato de manganeso (o zinc en caso de emplear este metal para la fabricación de la solución fosfatizante),  $\text{Mn}_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4$ , por cualquiera de las siguientes reacciones [4]:



En la Figura 1, se esquematiza el mecanismo de fosfatizado.

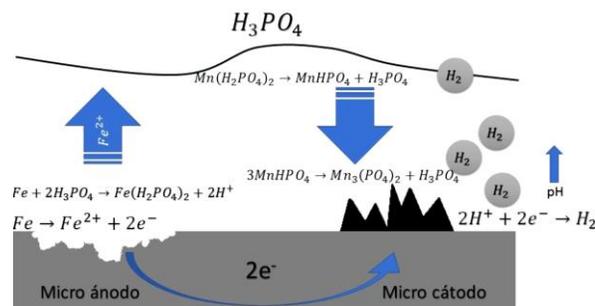


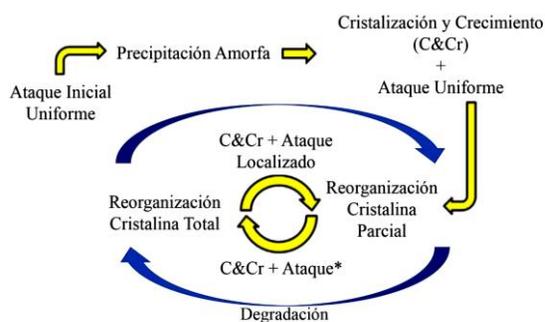
Figura 1 Mecanismo de fosfatizado en solución ácida de manganeso [16]

### Mecanismo fenomenológico del fosfatizado

A diferencia del mecanismo anterior, donde la etapa de reorganización es una etapa final, en el mecanismo moderno la etapa de reorganización cristalina es un proceso cíclico. Este proceso consta de varias etapas y es aplicable para todos los sistemas de fosfatizado que exhiben una capa interna durante el proceso [17], al ser las tres primeras las mismas que propone Ghali [15], las etapas son:

- Ataque o corrosión del sustrato.
- Precipitación amorfa o precipitación de cristales de fosfato muy finos (amorfos).
- Cristalización y crecimiento de los cristales.
- Degradación de la capa de cristales.
- Reorganización cristalina.

La primera etapa consiste en la corrosión del sustrato por parte de la solución ácida fosfatizante. El hierro del acero se oxida a  $\text{Fe}^{+2}$ , a su vez el ion hidronio,  $\text{H}^+$  es reducido a hidrógeno molecular promoviendo una elevación del pH interfacial, sustrato-solución. Esta condición provoca la siguiente etapa del fosfatizado, la precipitación de fosfatos muy finos en la superficie del acero. Cabe mencionar que la segunda etapa no se vuelve a presentar durante el proceso, es la única etapa que se presenta solo una vez en el fosfatizado. La Figura 2, esquematiza el ciclo de fosfatizado de manganeso en acero. La etapa de crecimiento de los cristales consiste en la precipitación de cristales de fosfato ricos en manganeso [17].

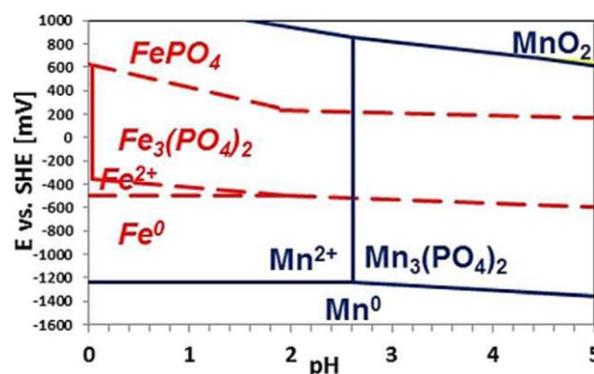


**Figura 2** Esquemización del ciclo de fosfatado con manganeso en aceros. El ataque sobre el acero es uniforme solo en el primer ciclo, habiéndose formado la capa interna, el ataque es localizado [17]

La degradación cristalina tiene lugar durante todo el proceso de fosfatado y se puede apreciar a través de la formación de lodos en el baño y la apariencia degradada de los cristales en el recubrimiento. La degradación de la capa de cristales se da debido a un fenómeno de acidificación localizada en el interior de los cristales. Defectos en los cristales tales como grietas, hoyos, picaduras etc. favorecen este fenómeno. Durante la acidificación, la superficie del cristal y el área externa de la fosa (picadura, hoyo, grieta, pozo) tienen fácil acceso al oxígeno mientras que la zona interna de la fosa no lo tiene. Por lo tanto, esta zona se convierte en una zona anódica que permite la producción de protones debido a la hidrólisis continua que se produce dentro de estos defectos. En las inmediaciones del pozo, es muy favorable la hidrólisis ( $H_2O \rightleftharpoons 2H^+ + \frac{1}{2} O_2 + 2e$ ) debido a la presencia de  $NO_3^-$  y  $H_2PO_4^-$ , la alta relación de área de cátodo/ánodo, la alta temperatura cuando el proceso se lleve a cabo a temperaturas elevadas [17].

El proceso de acidificación modifica la composición química de los cristales de hureaulita ricos en Mn, mediante separación por arrastre de manganeso, un proceso análogo a la lixiviación dando como resultado la disminución del tamaño del cristal. Este proceso inicia hasta que el pH local cae por debajo de 2.6 ya que la hureaulita rica en Mn se disuelve a pH menores de 2.6. Como se puede ver en la Figura 3, por debajo de este pH sólo queda hureaulita rica en Fe. Todo esto conlleva a una reducción del peso del recubrimiento debido a que el contenido de Fe en el cristal es inferior al de manganeso.

Cuando la composición de la hureaulita se modifica, una reorganización cristalina tiene lugar y conduce un cambio de morfología de cristales prismáticos a una morfología de película, es decir, los cristales prismáticos de hureaulita ricos en Mn sobre la superficie del revestimiento se sustituyen por una película de hureaulita rica en Fe (capa interna) [17].



**Figura 3** Diagrama de Pourbaix a 90°C para el Mn- $H_3PO_4$  (línea sólida) y Fe- $H_3PO_4$  (línea punteada) [17]

El proceso para el cálculo del mecanismo fenomenológico del fosfatado seguido en este trabajo se basó en ir pesando la muestra y verificar cómo va cambiando el OCP. Se observó el incremento de la masa en la muestra y se verificó el potencial de circuito abierto. Mediante lo anterior se identificó en qué etapa iba el fosfatado, cruzando los resultados con microscopía electrónica.

### Metodología

Los sustratos empleados para los experimentos de fosfatado con manganeso por inmersión son láminas de acero formable de bajo carbono. Los sustratos empleados para la realización de las pruebas experimentales fueron una lámina recocida de acero formable IF (libre de intersticiales) etiquetada como S (composición del carbono de 0.009 % en peso) y dos láminas de acero de bajo carbono etiquetadas como C (0.058 % en peso) y D (0.038 % en peso).

Los aceros C y D tienen un bajo contenido de fósforo y niobio con respecto al acero S. Con lo que respecta al tamaño de grano en el acero S tiene un tamaño de grano más uniforme y más pequeño, contrastando con el acero C que es el que exhibe un tamaño de grano mayor y menor uniformidad en los tamaños.

Para observar el comportamiento del recubrimiento a diferentes acabados superficiales de los aceros, las muestras se desbastaron por uno de los lados con lijas de carburo de silicio (SiC) de números 320 y 1200 en presencia de agua y enjuagadas con agua desionizada. Los lados se etiquetaron como A a los lados desbastados y los que no como lados E.

Los reactivos empleados fueron de grado analítico: dióxido de manganeso (99.99%, Aldrich Chemistry), ácido fosfórico (85.8%, J.T. Baker), ácido nítrico (65.7%, J.T. Baker), hidróxido de sodio (98.3%, J.T. Baker), además se usó agua desionizada (18.2 MΩ-cm) para preparar las soluciones, dicha agua fue obtenida con el desionizador Barnstead modelo D7031.

El fosfatizado se realizó empleando el método por inmersión. Las etapas del fosfatizado son ocho operaciones, sin embargo, en dependencia de las condiciones superficiales del sustrato (metal base), algunas se pueden omitir o agregar al sistema. Una secuencia típica se ilustra en la Figura 4 [3]. Un proceso típico de fosfatizado mediante un proceso con limpiadores separados que está basado en un fosfato de sodio o de amonio con acelerantes y producen recubrimientos en un rango de 0,3 a 0,6 g/m<sup>2</sup>. La secuencia característica de operación puede ser la siguiente:

- Desengrase alcalino: 1 o 2 minutos por spray, o 2 a 4 minutos por inmersión.
- Decapado: se emplea por lo general mediante una solución de ácido fosfórico al 20 % y a una temperatura entre 60 y 70 °C produciendo un desoxidado en tiempos razonables.
- Enjuague: 30 segundos por spray o 1 minuto por inmersión.
- Activación: Se lleva a cabo con la adición de agentes activadores, lo cual permite incrementar el número de lugares activos de la superficie del metal, donde se forma el cristal de fosfato.
- Fosfatizado: 1 a 2 minutos por spray o 2 a 4 minutos por inmersión.
- Enjuague: 30 segundos por spray o 1 minuto por inmersión.

- Sellado: 30 segundos por spray o 1 minuto por inmersión.
- Secado: se emplea para eliminar cualquier residuo de agua del lavado, en algunos casos en el secado se origina una película con una estructura tridimensional causada en algunos casos por la macromolécula de un polímero.

Las temperaturas operativas pueden variar entre 30° C y 75° C dependiendo de las concentraciones. El enjuague final con un sellador orgánico o crómico es un aporte importante del proceso. Este puede ser seguido por un enjuague final con agua desionizada.

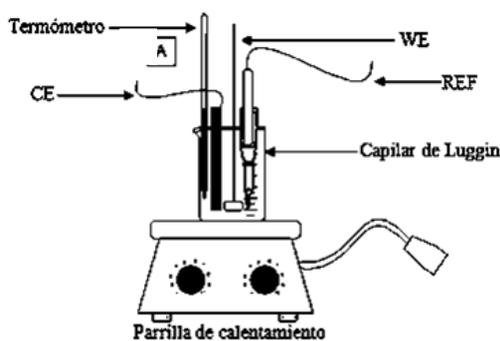


**Figura 4** Secuencia de fosfatizado mediante el método de inmersión [3]

Los aceros fueron sometidos a un proceso de fosfatizado, con la finalidad de monitorear la cinética de formación del recubrimiento de fosfato de manganeso y evaluar los cambios microestructurales a distintos tiempos de procesamiento mediante microscopía electrónica de barrido. Para este proceso se cortaron 10 piezas de las láminas de cada acero con dimensiones de 1.8 cm por 0.8 cm. Las condiciones de trabajo a las cuales se fosfatiza son una temperatura de 90 °C, con tiempos de inmersión de 1, 5, 10,15, 20, 25, 30, 35, 40 y 45 minutos para cada acero por separado. Cabe mencionar que todas las piezas se sumergieron al mismo tiempo, no pieza por pieza, se saca posteriormente una muestra de la solución a los tiempos ya mencionados. Dado que la temperatura es elevada, el agua de la solución tiende a evaporarse, por lo que se agregaba agua desionizada a la solución para mantener un volumen constante de solución.

Todo este proceso se realizó en un vaso de precipitado de 150ml con 100 ml de solución fosfatizante, en una parrilla de calentamiento sin agitación y usando un termómetro para medir la temperatura del baño.

La técnica de OCP se utilizó para monitorear la cinética de fosfatizado, esta técnica se utilizó bajo las mismas condiciones de temperatura y volumen constante descritas en el apartado anterior. El tiempo de la prueba fue de 45 minutos. Para cada acero se creó un electrodo montado en resina epóxica con la finalidad de aislar el acero y que solo estuviera en contacto un lado de la muestra, dicha muestra tiene dimensiones de 1 cm por 1 cm, a su vez la laminilla de acero fue soldada a un alambre de cobre para poder transmitir la señal eléctrica, que después se recubrió con silicón en frío para aislarlo. Este electrodo de trabajo (WE), se montó en una celda electroquímica de 3 electrodos, construida con un vaso de precipitado de 150 ml instrumentado con un termómetro, un electrodo de referencia (REF) de Ag/AgCl de la marca Thermo Scientific Orion acoplado a un capilar de Luggin, una barra de grafito como contra-electrodo (CE). La celda electroquímica se colocó en una parrilla de calentamiento para regular la temperatura del baño sin agitación. En la Figura 5 se muestra el montaje de la celda.



A)



B)

**Figura 5** Celda electroquímica de 3 electrodos. A) Esquemática, B) Celda empleada

## Resultados

### Evaluación de la cinética de fosfatizado mediante la técnica electroquímica de OCP

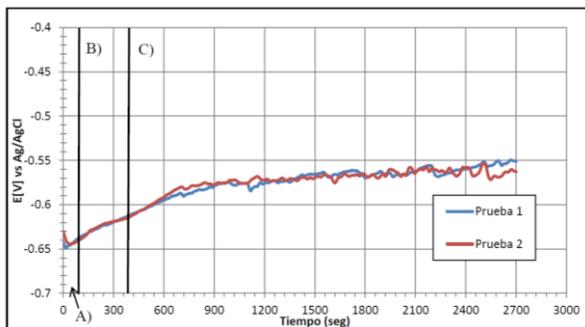
La cinética del proceso de fosfatizado se monitoreó censando el potencial de circuito abierto de cada acero en la solución fosfatizante.

La variación del potencial entre cada prueba de cada acero al tiempo cero no varía demasiado, no difieren en más de -1.22 centésimas de voltio, la cual representa la máxima variación encontrada, en este caso se refiere al acero C, mientras que para los otros dos aceros la variación todavía es menor.

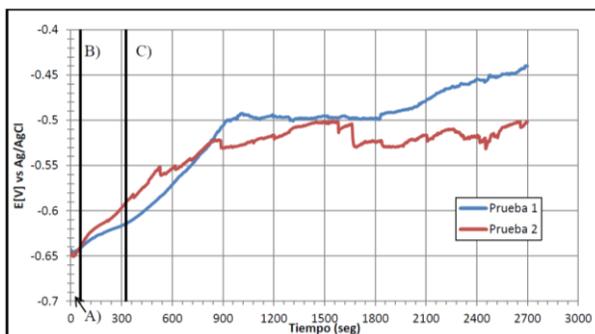
Para los tres aceros existen cinco cambios principales en el potencial. El primer cambio sucede a tiempos cortos, el potencial de circuito abierto se hace más negativo.

El segundo cambio sucede a partir de ese valor mínimo, el potencial aumenta conforme transcurre el tiempo, llegando hasta un potencial máximo relativo, donde el potencial llega a estabilizarse, generando una meseta, la generación de la meseta es el tercer cambio en el potencial, este cambio es más evidente en el acero S.

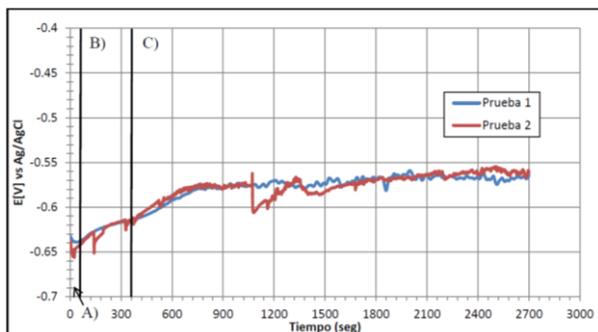
Después de que el potencial llega a estabilizarse en ese máximo relativo, el potencial aumenta nuevamente (cuarto cambio en el potencial) llegando a un valor de potencial máximo, después del cual se produce un nuevo y último cambio de pendiente, a este nuevo cambio de pendiente se le nombra, en este trabajo, potencial estabilizado, el aumento del potencial en esta etapa es muy lento, o prácticamente despreciable (Figura 6).



Acero C



Acero D



Acero S

**Figura 6** OCP de los aceros C, D y S del lado desbastado en solución fosfatizante II a 90 °C

A partir del análisis de las curvas de OCP mostradas en las Figuras 6, se deduce: durante la etapa (A), existe una disminución del potencial, y es la etapa inicial de corrosión del sustrato. Este fenómeno de corrosión se observó en las pruebas efectuadas con los tres aceros, y es consistente con lo reportado en la literatura, donde el acero sufre una corrosión previa al inicio de la deposición de los cristales de fosfato de manganeso. Por otro lado, el comportamiento de las curvas de OCP en la Figura 6, es el característico de la formación del recubrimiento de fosfato de manganeso. La segunda etapa (B) de la técnica de OCP se aprecia en el incremento rápido del potencial, llegando a un cambio de pendiente o generación de meseta que se relaciona con la formación del recubrimiento, en algunos aceros es más apreciable la formación de dicha meseta. Para el acero S (Figura 6), la formación de la meseta es más perceptible que para los otros dos aceros.

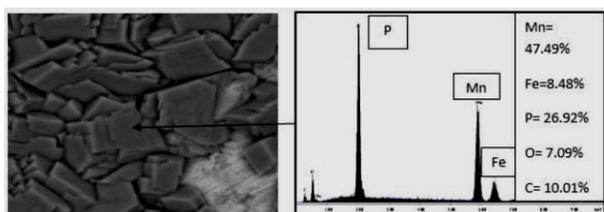
Durante esta etapa, para la réplica del acero S se pueden ver dos decaimientos significativos del potencial, esto puede ser atribuible a la acumulación de burbujas de hidrógeno ( $H_2$ ) en la superficie del sustrato. La formación de la meseta en el acero D (Figura 6) no es muy apreciable ya que el crecimiento del recubrimiento en esa etapa es muy rápido. En la tercera etapa el incremento en OCP ocurre hasta un valor máximo ( $E_{m\acute{a}x}$ ) para la mayoría de los aceros, este máximo indica el tiempo requerido para que la superficie del sustrato haya sido recubierta completamente con los cristales de fosfato de manganeso [2,10]. Dichos tiempos entre cada acero son muy semejantes.

El acero que alcanzó el potencial máximo más rápido en la tercera etapa fue el acero C (Figura 6), lo que indica que fue el que tiene una mayor cinética de fosfatizado, lo que revela que es el acero que se recubre en menor tiempo, a comparación de los otros dos aceros, seguido del acero S con una diferencia de no más de 55 segundos. Después del potencial máximo, el potencial tiende a estabilizarse, alcanzando un pequeño incremento en su valor, en la mayoría de los aceros. El incremento en el valor del potencial después del potencial máximo se debe a la reorganización y recristalización del recubrimiento, donde el potencial se ve afectado solamente por efecto de los ciclos de degradación parcial o total de los cristales seguidos de una recristalización. Es interesante comentar que, durante la etapa de reorganización cristalina, en donde los cristales de fosfato de manganeso se disuelven y re-precipitan de manera cíclica, el potencial registrado en el material no disminuye hasta su valor original.

### Caracterización química y microestructural de los recubrimientos

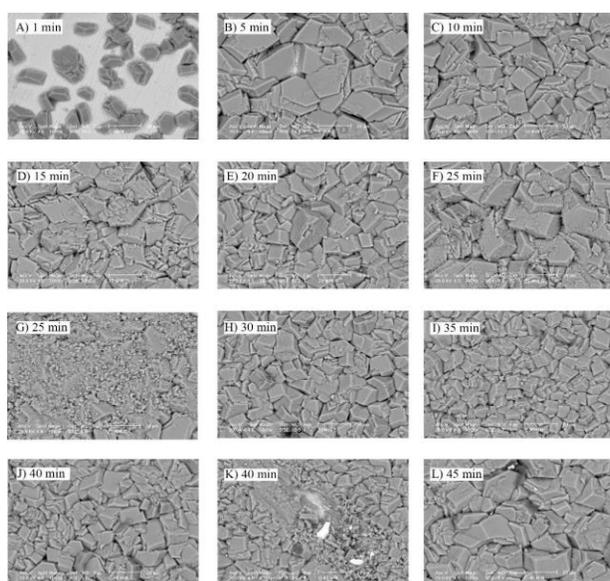
Las piezas sometidas al proceso de fosfatizado se analizaron por MEB para evaluar la morfología y la composición química de los recubrimientos con respecto al tiempo de inmersión. En dicho análisis se tomaron fotomicrografías de las placas de acero sumergidas a los diferentes tiempos en el baño fosfatizante. En dichas muestras, se forma un recubrimiento de cristales de fosfato de manganeso sobre la superficie.

Los cristales formados en ambos lados de los aceros (i.e., desbastado y lado de llegada) tienen una composición rica en fosfato de manganeso con poca concentración de hierro. El porcentaje en peso de contenido de manganeso en los cristales va hasta un 40 % en su estructura, aunque se encontraron cristales con un contenido mayor de manganeso. Como se puede observar en la Figura 7, el recubrimiento está conformado por fosfatos de manganeso en su mayoría, existiendo poca cantidad de hierro en los cristales.



**Figura 7** Recubrimiento del acero “S” por el lado desbastado a 15 minutos de inmersión en el baño fosfatizante

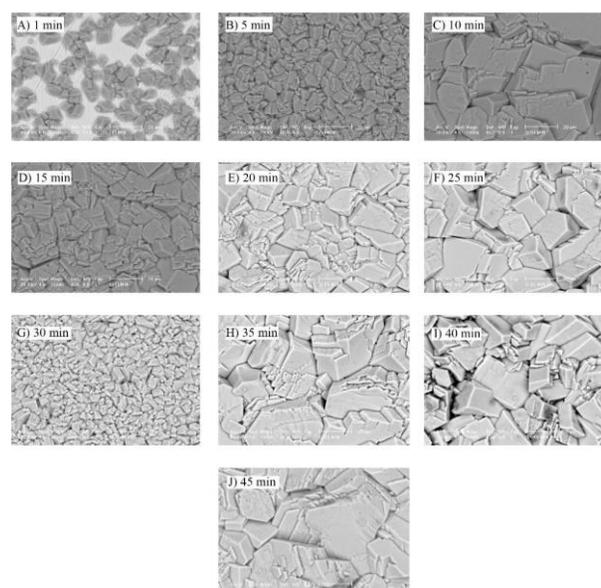
La forma que adoptan los cristales es prismática con formas muy irregulares. Como puede verse en la Figura 8, para el caso del acero C fosfatizado por lado desbastado. Esto es de esperarse ya que la hureaulita de fosfato de manganeso forma cristales prismáticos y no películas como es el caso de la hureaulita de hierro [2], estos prismas tienen una tendencia a formar un hexágono en al menos uno de los lados del prisma, este hexágono puede ser regular o irregular, alargado en sentido de un par de sus vértices opuestos o alargado en el sentido de un par de sus lados opuestos o alguna combinación de éstas.



**Figura 8** Evolución del recubrimiento en el acero C por el lado desbastado

Durante el crecimiento del recubrimiento se observó otro factor que promueve la irregularidad de la forma de los cristales: los defectos presentes en ellos, como son la formación de láminas o capas incompletas, maclas y picaduras en los cristales. Las láminas o capas incompletas delimitan el crecimiento del cristal, provocan que no siga creciendo el cristal en cierta dirección, esto a su vez crea huecos.

Las maclas son un crecimiento irregular en alguna estructura debido al acomodo y/o orientación de las moléculas en su estructura [1], esto ocasiona un cambio de la dirección de crecimiento del cristal. Las picaduras se presentan durante todo el proceso de fosfatizado, siendo más evidentes en el acero D por el lado desbastado (ver Figura 9, las picaduras están indicadas con flechas), estas picaduras son ocasionadas parcialmente debido a la presencia de hierro en la estructura del cristal que crea vacancias en el cristal, por otro lado, la acidificación del cristal descrito anteriormente [2]. Todo esto en su conjunto contribuye a la forma irregular de los cristales. A pesar de que los cristales siguen la tendencia de adoptar formas irregulares, en algunos casos, en ciertas regiones, la forma de los cristales cambia.

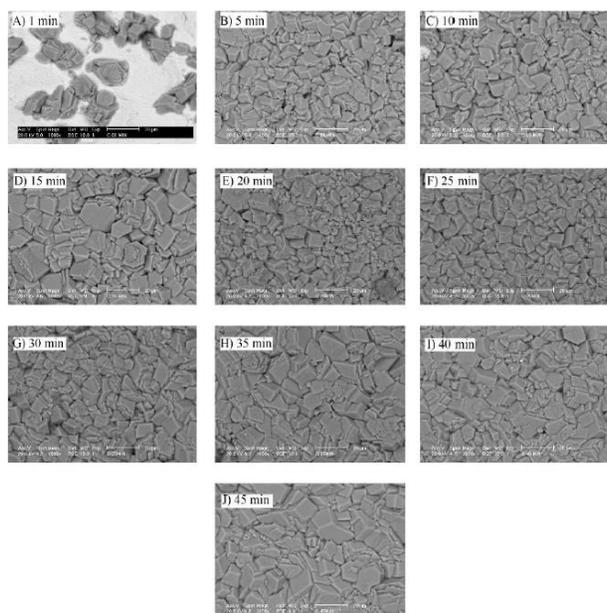


**Figura 9** Evolución del recubrimiento en el acero D por el lado desbastado. Las flechas indican la localización de las picaduras en los cristales

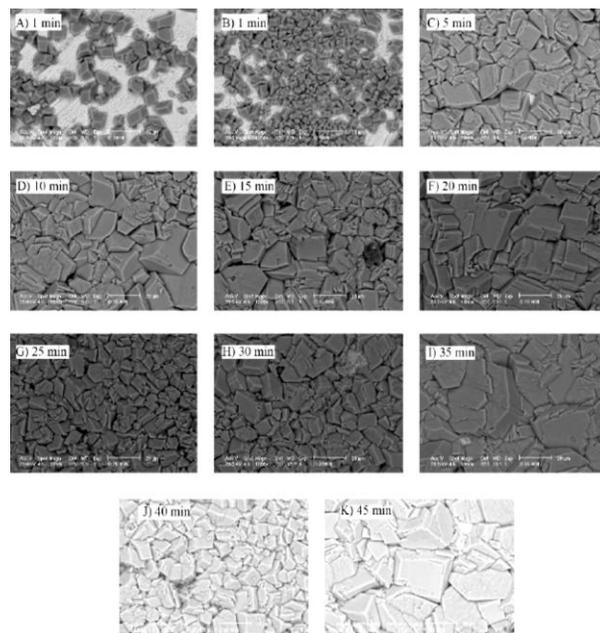
Para el acero C lado desbastado (Figura 8), hubo cambio en la forma de los cristales con respecto a la forma típica. A los 40 minutos en una región de la muestra se generaron cristales con forma acicular en las inmediaciones de una zona aparentemente no recubierta Figura 8 K).

Esta zona está recubierta en parte por fosfatos de manganeso y fosfatos de hierro el cual pertenece a la capa interna que se genera en el recubrimiento del acero. En el lado de llegada de este mismo acero no se presentó un cambio en la forma de los cristales como se puede observar en la Figura 10. Los resultados de la Figura 8 y 10, revelan que la superficie tiene un efecto importante en la morfología de los cristales a tiempos largos (aproximadamente de 40 min), lo que indica que la rugosidad de la superficie es fundamental para acelerar la cinética de fosfatizado y por otro lado para determinar el tipo y tamaño de cristal requerido.

El acero D presentó cambios en la forma típica de los cristales en ambos lados i.e., desbastado y lado de llegada (ver Figuras 9 y 11). Por el lado desbastado se presentó un comportamiento granular al minuto 30, Figura 9 G). Por el lado de llegada del acero “D” (Figura 11) al minuto de estar sumergida la muestra en el baño fosfatizante, los cristales tienen dos comportamientos, uno con forma típica, Figura 11A), y el otro granular, como se puede ver en la imagen 11B). En la muestra se tienen estas dos formas en diferentes zonas.



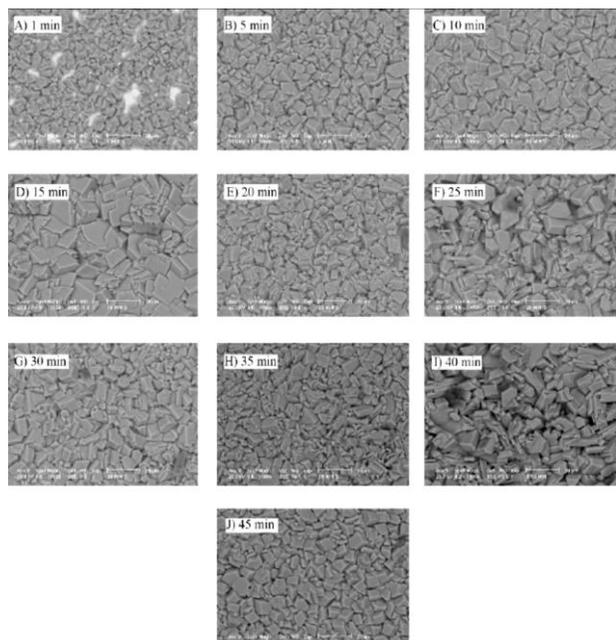
**Figura 10** Evolución del recubrimiento en el acero C por el lado de llegada



**Figura 11** Evolución del recubrimiento en el acero D por el lado de llegada

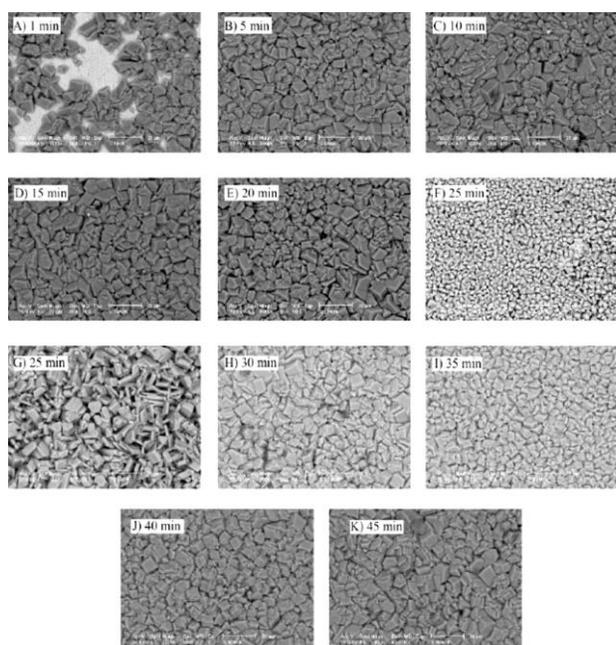
En el acero S lado desbastado no se presentó un cambio total en la forma de los cristales durante el fosfatizado (Figura 12 F), se puede ver la aparición de muy pocos cristales con forma de aguja y en la Figura 12 H), se presentó una formación parcial de cristales granulares.

Por el lado de llegada del acero S hubo tres cambios en la forma del cristal, primero los cristales crecían con la forma típica: irregular prismática, al minuto 25 de estar en el baño fosfatizante, se presentó un crecimiento de cristales en forma de gránulos, Figura 13 F), con un tamaño mucho menor, estos cristales granulares no tienden a coalescer unos con otros, como se observa con el recubrimiento de cristales prismáticos.



**Figura 12** Evolución del recubrimiento del acero S del lado desbastado

El segundo cambio de forma fue al mismo tiempo de inmersión en el baño fosfatizante, pero en una región diferente de la muestra de acero. Dicho cambio tiene forma de agujas, Figura 13 G), prismas alargados y muy delgados, con apenas unas cuantas micras de espesor. El tercer cambio fue al minuto 30 donde las dos formas antes mencionadas desaparecieron, regresando a su forma típica de prismas irregulares.



**Figura 13** Evolución del recubrimiento en el acero S por el lado de llegada

Los resultados de la Figura 12 y 13 revelan que en efecto la condición superficial del acero (i.e., rugosidad) tiene un efecto importante en la cinética de fosfatizado, de hecho, si se observa al minuto 1 en la Figura 12 y 13, la fracción cubierta del acero por los cristales de fosfato de manganeso es mayor en el acero que fue desbastado que en el fosfatizado sin ningún tratamiento superficial (es decir lado de llegada). Más aún este resultado coincide con lo mostrado en las Figuras 8 y 10 para el acero C desbastado y sin tratamiento, respectivamente.

### Formación de lodo

Durante el proceso de fosfatizado se generó lodo. La presencia de este lodo fue visible durante el proceso en la solución fosfatizante. Conforme pasaba el tiempo, la solución fosfatizante, que inicialmente tenía una apariencia incolora, se empezó a opacar, apareciendo partículas de color blanco o de alguna tonalidad de amarillo en la solución. La cantidad de estos lodos fue diferente para cada acero, así como, el tiempo de aparición de este en la solución, para el acero C, apareció a los 2 minutos de estar inmersas en el baño fosfatizante la solución perdió totalmente su cristalinidad, de igual forma para el acero D, a los 3 minutos la solución se turbio y por último para el acero S, a los 8 minutos de fosfatizado, la solución empezó a perder su cristalinidad, señal inequívoca de la formación de lodo.

La generación del lodo, proviene de la desintegración de los cristales, de hecho, un ejemplo de la disolución de los cristales debido a la degradación y reorganización cristalina se puede ver en la Figura 8 G), esta imagen sitúa al recubrimiento a un tiempo de 25 minutos en el baño fosfatizante.

Los cristales prismáticos de mayor tamaño se están deshaciendo, el producto de la desintegración son cristales de menor tamaño. Una parte de estos cristales de menor tamaño formaran parte del lodo en la solución fosfatizante y otra se recrystalizará en el recubrimiento del acero formando nuevos cristales o adhiriéndose a cristales no disueltos.

### Características de los cristales de fosfato de manganeso y su posible relación con la corrosión de los aceros

A lo largo del proceso de fosfatizado la cantidad de cristales presentes en la superficie de los aceros va cambiando. Como es lógico, al minuto 1 se tiene una cantidad de cristales baja, menos para el acero S (Figuras 12 A) y 13 A)) donde la densidad cristalina es alta. Después de los 5 minutos de fosfatizado, ya no se puede apreciar con facilidad la superficie del acero. La densidad cristalina para los tres aceros aumenta y disminuye conforme pasa el tiempo, es decir, cambia de manera cíclica.

Con base en las observaciones realizadas en las superficies fosfatizadas de los diferentes aceros se puede decir que en algunos aceros la corrosión fue más homogénea en toda la superficie que en otros, haciendo que en toda o en la mayor parte de la superficie de las muestras se oxidara el hierro (regiones anódicas) y se redujera el hidrógeno (regiones catódicas). Al tener mayor reducción del protón, aumenta el pH interfacial sustrato-solución, favoreciendo la precipitación del fosfato ocasionando una densidad cristalina mucho mayor, pudiendo suponer que la topografía de la superficie fue la causante de tener diferencias al momento de ocurrir el ataque químico. Es decir que, al tener superficies más rugosas, aumenta el área superficial del sustrato y esto a su vez la cantidad de micro-ánodos y micro-cátodos que son los causantes de la precipitación de los cristales de hureaulita ricos en manganeso.

En todas las superficies a tiempos cortos (un minuto de inmersión en el baño fosfatizante) se observó que la densidad cristalina del recubrimiento es diferente. Lo que controla el crecimiento de los cristales es la corrosión del acero, por lo que se puede inferir que en las muestras con densidades cristalinas bajas la corrosión no es tan homogénea en la superficie como en las que hay mayor cantidad de cristales, esto provoca que se tengan áreas muy poco recubiertas a tiempos cortos, además se ve que los cristales que crecen bajo este tipo de corrosión más localizada son más grandes ya que es más factible que siga creciendo el cristal en donde ya hay un asentamiento que encontrar un sitio para que se precipite un nuevo cristal.

### Espacios libres observables

Al minuto del fosfatizado, por los lados desbastados solo hay presencia de pocos cristales para el acero C, siguiendo en cantidad el acero D. En el caso del acero S, el comportamiento es diferente, ya que para este tiempo la superficie ha sido recubierta casi en su totalidad. Esto no contradice lo que se obtuvo en OCP, donde el acero C es el que se recubre más pronto, ya que el tener una superficie muy poblada de cristales al inicio del proceso no indica que toda la superficie se recubrió por completo, sino que al inicio del fosfatizado la pasivación del metal es rápida y conforme el tiempo transcurre, ésta se hace un poco más lenta.

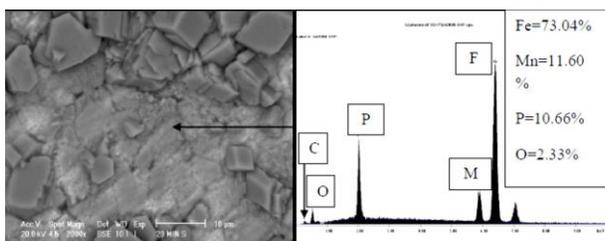
Esto se debe a que el ataque inicial en el fosfatizado se realiza preferentemente en las fronteras de grano de los aceros y como el acero S es el que tiene mayor área de fronteras de grano expuestas en la superficie por tener la mayor densidad de granos en la superficie, se favorece la precipitación de fosfatos amorfos de manganeso/hierro al inicio del proceso.

Además, no se ha cumplido ni un ciclo de fosfatizado para ese tiempo de acuerdo con el análisis de OCP. Un comportamiento semejante por los lados de llegada se presentó con respecto a la densidad cristalina donde el acero S fue el que tuvo mayor densidad cristalina a este mismo tiempo, seguido del acero D y al final el C.

Para los aceros C y S se observó que entre los minutos 10 y 15 la superficie está prácticamente recubierta para ambos lados de la pieza y para el acero D entre los minutos 15 y 20. A tiempos posteriores lo que cambia en los revestimientos es el tamaño de los cristales y la densidad superficial cristalina.

El desarrollo de la película interna sucedió tiempo después de que los diferentes aceros llegaron al potencial máximo. En la Figura 14 se puede ver que se ha formado la capa interna, esto soportado por el análisis químico que sigue que lo que se formó es hureaulita de hierro. Esta aseveración es para los lados desbastados de las muestras.

Para los lados de llegada sucedió un comportamiento diferente, la formación de la capa interna sucedió antes de que las muestras llegasen al potencial máximo, cabe mencionar que para los lados de llegada no se les realizaron pruebas de OCP, por lo que no se tiene un valor de potencial máximo para las muestras sin acabado superficial, solo se tiene de referencia el potencial máximo de los lados desbastados. Esto sugiere que para los lados de llegada se alcanza más rápido el potencial máximo en comparación con el lado desbastado.



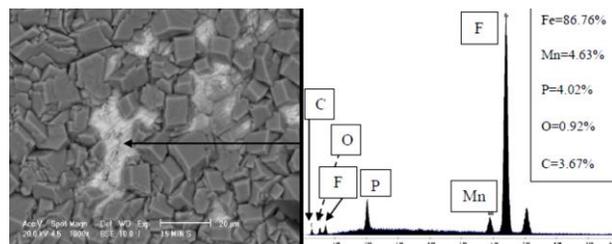
**Figura 14** Formación de la capa interna en el acero S lado desbastado

En la Tabla 1 se muestran los tiempos a los cuales las muestras llegaron a su potencial máximo comparando con el tiempo donde se encontró la capa interna.

| Acero | Acabado Superficial | $t_{\text{máx}}$ [min] | $t_{\text{capa interna}}$ [min] |
|-------|---------------------|------------------------|---------------------------------|
| C     | Desbastado          | 11.58-11.92            | 15                              |
|       | Llegada             | -----                  | 15                              |
| D     | Desbastado          | 14.42-15.62            | 20                              |
|       | Llegada             | -----                  | 10                              |
| S     | Desbastado          | 12.7-12.75             | 20                              |
|       | Llegada             | -----                  | 10                              |

**Tabla 1** Tiempos a los cuales se encontró la capa interna y el potencial máximo para los diferentes aceros, tomando como unidades del tiempo minutos

Se observó que a tiempos menores de donde debe aparecer la capa interna, señalados en la Tabla I, aún no se ha desarrollado la capa interna, sin embargo, existe presencia de precipitados de fosfatos amorfos sobre la superficie expuesta, como se puede observar en la Figura 15 en las zonas no recubiertas por los cristales. Por otro lado, en algunas zonas muy pequeñas de los aceros a tiempos menores de la formación de la capa interna, hay presencia de hureaulita de hierro, no quiere decir que se hubiese desarrollado la capa interna por completo en toda la pieza, simplemente en esas zonas empezó a desarrollarse esta capa.

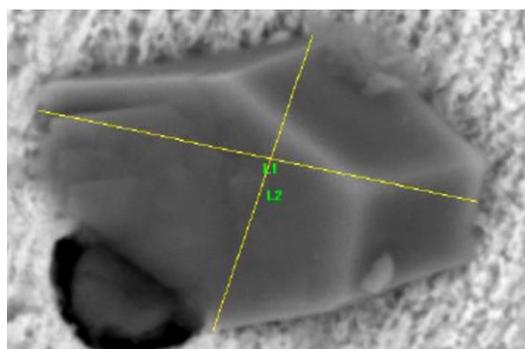


**Figura 15** Composición de la superficie del acero S por el lado desbastado a 15 minutos de fosfatizado

La capa interna está compuesta por hureaulita rica en hierro con poca concentración de manganeso. Esta capa, a diferencia de la capa externa, no forma un recubrimiento prismático, sino una película [2].

### Tamaño de los cristales en el recubrimiento de los aceros

Debido a la irregularidad de la forma de los cristales formados en el revestimiento en los aceros, los cristales se midieron de manera que esas mediciones representaran lo más posible la forma del cristal. Ejemplo de la forma en que se midieron los cristales se muestra en la Figura 16, las mediciones se llevaron a cabo haciendo uso del software Image-Pro® Plus.

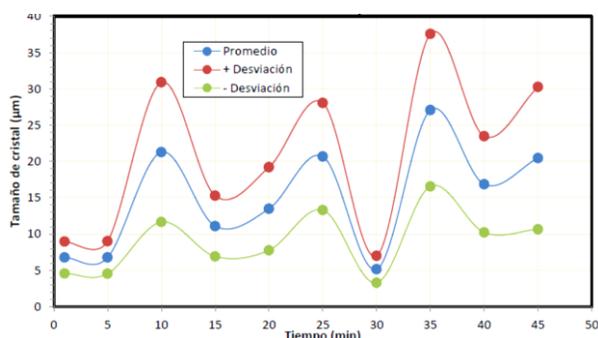


**Figura 16** Medición ejemplo de un cristal de fosfato de manganeso en la superficie del acero C lado desbastado a 1 minuto de fosfatizado

Las mediciones se hicieron para determinar el tamaño promedio de los cristales de la capa externa, más no se realizaron mediciones de espesor, tanto para la capa interna rica en hierro como para la capa externa rica en manganeso. Estas mediciones no arrojan un tamaño del cristal en 3 dimensiones, sino que solamente las medidas del recubrimiento en una vista superior.

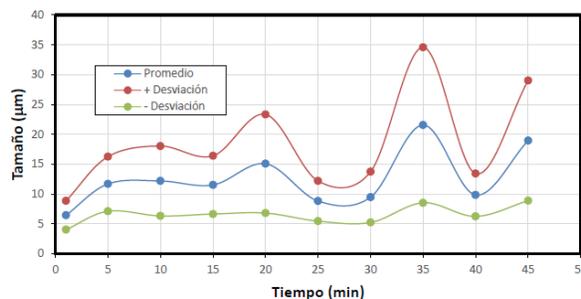
El comportamiento del tamaño de los cristales es cíclico, es decir, el crecimiento de los cristales va en aumento y alcanzado un pico de altura, el tamaño del cristal disminuye llegando hasta un mínimo, en donde se da de nuevo el inicio del crecimiento de los cristales. Cabe mencionar que el comportamiento cíclico es continuo, es decir, el proceso de aumento y disminución del tamaño del cristal ocurre durante todo el proceso de fosfatizado. Aunque el fosfatizado de las muestras de los aceros y las pruebas de OCP fueron a 45 minutos, no quiere decir que el proceso del crecimiento de los cristales sea hasta ese tiempo, de haber prolongado el tiempo de las pruebas, se seguiría presentando el comportamiento cíclico del tamaño de los cristales.

Si bien el crecimiento de los cristales es cíclico, no todos tienen los mismos aumentos o disminuciones con respecto a los tamaños, inclusive el comportamiento cíclico varía de lado a lado de cada acero teniendo picos a diferentes tiempos. En unos aceros el número de ciclos presentes durante el proceso son más que en otros. En el acero D se presentaron el mayor número de ciclos durante el fosfatizado llegando a tener 3 ciclos por el lado desbastado y por el lado de llegada 2 ciclos y uno aparente, ver Figuras 17 y 18. Este ciclo aparente ocurre a los 5 minutos del fosfatizado en el lado de llegada donde se forma una meseta, a los 15 minutos decae el tamaño de los cristales. En este lapso no se presentó un pico como tal y el decaimiento en el tamaño no fue de gran magnitud.



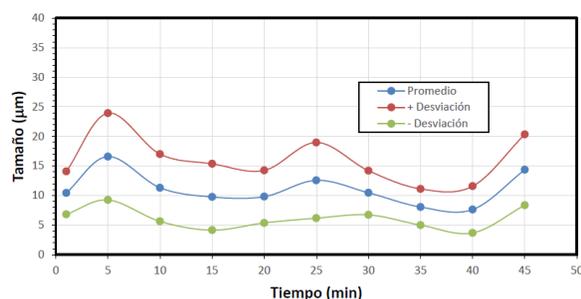
**Figura 17** Desarrollo del tamaño de los cristales de hureaulita de manganeso durante el tiempo de fosfatizado a 90 °C. Acero D lado desbastado, Solución 2

Otro comportamiento referente a los ciclos es que para el acero D, Figura 17, los cambios en el tamaño de cristal son más abruptos. Se tiene un crecimiento de los cristales rápido y a su vez una disminución en el tamaño con una rapidez similar.



**Figura 18** Desarrollo del tamaño de los cristales de hureaulita de manganeso durante el tiempo de fosfatizado a 90 °C. Acero D lado de llegada, Solución 2

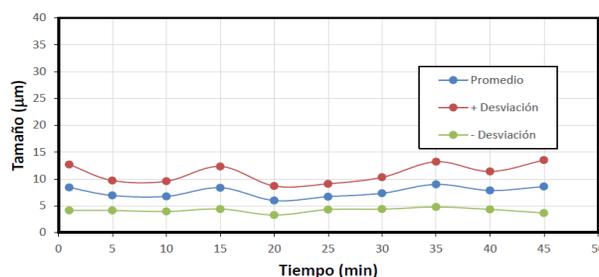
Al observar las figuras de los tamaños de los cristales de los aceros C y S los picos generados no son tan delgados, sino anchos como lo es en el acero C (Figura 19 y 20), inclusive podría decirse que son inexistentes como es el caso para el acero S.



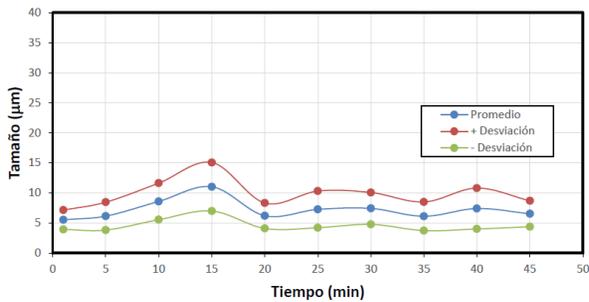
**Figura 19** Desarrollo del tamaño de los cristales de hureaulita de manganeso durante el tiempo de fosfatizado a 90 °C. Acero C lado desbastado, Solución 2

Al comparar el lado desbastado del acero S (Figura 21) con el lado de llegada del mismo acero (Figura 22), el lado de llegada no presenta cambios significativos en el tamaño de los cristales, el mayor cambio presente en este lado del acero S fue al minuto 25, a este tiempo se presentó un decaimiento en el tamaño de los cristales, sin embargo, a los siguientes tiempos el tamaño volvió a seguir la misma tendencia de tamaños.

Acero C lado de llegada, Solución 2

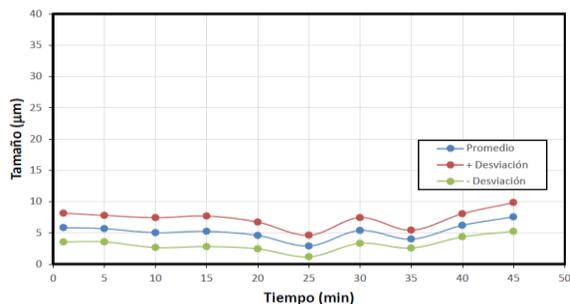


**Figura 20** Desarrollo del tamaño de los cristales de hureaulita de manganeso durante el tiempo de fosfatizado a 90 °C. Acero C lado de llegada, Solución 2



**Figura 21** Desarrollo del tamaño de los cristales de hureaulita de manganeso durante el tiempo de fosfatizado a 90 °C. Acero S desbastado, Solución 1

El presentar picos anchos en las curvas de tamaños de cristal sugiere que el cambio en el tamaño de los cristales para estos aceros es lento. Por lo que los tamaños de los cristales son más homogéneos.



**Figura 22** Desarrollo del tamaño de los cristales de hureaulita de manganeso durante el tiempo de fosfatizado a 90 °C. Acero S lado de llegada, solución 1

El acabado superficial de las muestras afecta directamente al comportamiento cíclico del crecimiento de los cristales, modificando de manera importante el tamaño y heterogeneidad de los cristales, la velocidad de crecimiento y desintegración de los cristales y la facilidad de corroer la superficie ante la solución fosfatizante.

Se observó que en los lados desbastados de las muestras de acero se tuvieron cristales de mayor tamaño en comparación con sus lados de llegada. Con respecto a la heterogeneidad de los cristales, en las gráficas de tamaño de cristal se agregaron dos curvas más, estas curvas corresponden a más/menos una desviación estándar de cada punto de la curva de tamaños promedios de los cristales, la desviación representa el grado de heterogeneidad de los tamaños de los cristales. En los lados desbastados se tiene una mayor desviación con respecto al promedio, lo que indica que a pesar de que se tuvo un tamaño de cristal promedio a cierto tiempo, en toda la muestra se tiene una gran irregularidad de tamaños.

No sólo el acabado superficial afecta la heterogeneidad, sino que también se ve que, al disminuir el tamaño de los cristales durante el proceso, el valor de la desviación estándar en ese punto disminuye, lo que refleja un grado de homogeneidad mayor en los tamaños de los cristales. Cuando los cristales tienden a aumentar de tamaño también lo hace la heterogeneidad ya que la desviación percibida en los momentos de crecimiento de los cristales aumenta con respecto a los valores donde los cristales disminuyen de tamaño. Como puede verse al comparar las Figuras 16, 18 y 20 con las figuras de los aceros por los lados de llegada, Figuras 17, 19 y 21, las curvas de  $\pm$  desviación de los lados de llegada están más cercas a la curva de promedio del tamaño de cristal, lo que indica que se tiene más homogeneidad en los cristales formados en los lados de llegada que en los lados desbastados.

En el acero D, la velocidad de crecimiento y desintegración de cristales es mayor que en los otros dos aceros, pero el acabado superficial hace que estos cambios sean aún más abruptos para todos los aceros. Al desbastar la superficie se presentan picos más afilados en las curvas de tamaño que cuando no se desbastan las muestras. El crecimiento de los cristales es más lento y homogéneo en los lados de llegada que en los lados desbastados, aunque el desbastar aumenta el tamaño de los cristales.

La facilidad de corrosión y deposición de cristales aumenta al desbastar la superficie, esta observación solo es posible verse al minuto de fosfatizado, ya que a tiempos posteriores la mayor parte de la superficie es poblada de cristales. Como se puede ver en las Figuras 8 a 13 a tiempo de un minuto, hay mayor número de cristales depositados en las superficies desbastadas que en las no desbastadas.

Independientemente de que acero y lado se trate, el acero D obtuvo los cristales de mayor tamaño. Para el lado desbastado desde tiempos relativamente cortos, este acero ya presentaba cristales de tamaños promedios mayores de 20  $\mu\text{m}$ , esto antes de que la superficie se recubriera por completo. El pico máximo se presentó a un tiempo de 35 minutos con un tamaño promedio de cristal de 27  $\mu\text{m}$ .

Los cristales de menor tamaño se formaron en el acero S, el tamaño del cristal no excedió las 12  $\mu\text{m}$  para el lado desbastado y 8  $\mu\text{m}$  para el lado de llegada. Para el acero C se tuvieron tamaños de entre 7.6 a 17  $\mu\text{m}$  por el lado desbastado y de 5.9 a 9 micras por el lado de llegada.

## Conclusiones

Cuando el acero presenta tamaños de grano pequeños y homogéneos, la velocidad de corrosión del sustrato solamente al inicio del proceso es alta debido a la gran cantidad de límites de grano presentes en la superficie, ya que en estos sitios es donde el ataque se hace preferentemente, lo que indica que la velocidad de fosfatizado sea alta al inicio del proceso.

Un factor determinante que favorece el ataque químico inicial, modificando el tamaño y homogeneidad de los cristales depositados es el acabado superficial que se le realice al acero. El desbastar las superficies de acero a fosfatizar, el ataque químico inicial es homogéneo en toda la superficie teniendo precipitación de cristales de hureaulita ricos en manganeso a tiempos cortos, esto provoca que se obtengan revestimientos más uniformes en toda la superficie, disminuyendo la cantidad de poros en el recubrimiento desde el inicio del proceso. Se igual forma, al desbastar las superficies metálicas, se obtienen cristales de mayor tamaño en comparación a las superficies que no fueron tratadas. Siendo más notorio el aumento del tamaño de los cristales de los revestimientos en el acero D, siguiendo el acero C y al final el acero S. Agregando al comportamiento presente en las superficies desbastadas, se tiene que, al tratar las superficies de esta manera, el crecimiento y disminución del tamaño de los cristales es mucho más abrupto, es decir, las velocidades de crecimiento y desintegración de los cristales son muy rápidas, ocasionando que los cristales obtenidos en las superficies desbastadas tengan mayor tamaño y mayor heterogeneidad, resultando en revestimientos con porosidad debido a los espacios que dejan los cristales al tener mayor heterogeneidad en el tamaño.

Industrialmente hablando, el tener cristales de menor tamaño al no desbastar las superficies de los sustratos ocasiona que el recubrimiento final tenga menor cantidad de poros.

Otro factor que se ve potenciado al tener cristales de tamaños pequeños es la adherencia y mayor uniformidad de posibles películas aplicadas a las piezas fosfatizadas,

Finalmente, la rugosidad de la superficie del sustrato es un factor importante en el fosfatizado ya que éste dictará si los cristales del recubrimiento tendrán tamaños grandes o de menores dimensiones, impactando en gran medida los tratamientos posteriores que pudieran tener las piezas fosfatizadas de acuerdo a su aplicación. Asimismo, la rugosidad influye en la velocidad de corrosión y en los tiempos a los cuales se presenta la capa interna, por consiguiente, la pasivación total de la superficie del sustrato.

A pesar de que no se realizaron mediciones del potencial de circuito abierto (OCP) para los aceros por el lado de llegada, si se observó que la capa interna aparece antes, a diferencia de las superficies que, si se desbastaron, por lo que se puede inferir que la rugosidad del sustrato acorta el tiempo para que la superficie se pasive.

## Referencias

- [1] Callister Jr. W. D. (1995), "Introducción a la ciencia de los materiales", 3ra edición, editorial Reverte S.A., Barcelona, España.
- [2] T.S.N. Sankara Narayanan, T. (2005). Surface pretreatment by phosphate conversion coatings – a review. *Adv.Mater.Sci.* 9, 130-177.
- [3] Gruss B. (2010) "Iron phosphating". *Journal Metal finishing*, volume 108, issue 1, pages 33-37.
- [4] Delgado Aguilar A. (2016). "Estudio Fenomenológico de las etapas críticas del proceso de fosfatizado con Zn-Mn de láminas de acero formables", Centro de investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Saltillo.

- [5] López León Servando (2008). Distribución del activador de Ti y su efecto en la formación de los recubrimientos de fosfato. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Querétaro.
- [6] Cruz Vázquez Janet Paola (2010) Recubrimiento de fosfatados sobre acero 304 sensibilizado. Tesis de Maestría CINVESTAV Unidad Altamira. Altamira, Tamaulipas.
- [7] Onofre Bustamante E., Olvera A., Barba A., Rodríguez F.J., Carboneras M., Álvarez M., García Alonso M.C y. Escudero M.L (2010) Optimización del tratamiento de fosfatado como método de protección frente a la corrosión. *Revista de Metalurgia*, 46 (4) Julio-Agosto, pp 360-369.
- [8] Alvarado García Miguel Ángel (2017) Influencia del potencial, concentración y ph en el fosfatado electroquímico y su capacidad como inhibidor de la corrosión de un acero AISI SAE 1018. Tesis de Maestría. UAM Azcapotzalco. Ciudad de México.
- [9] Calle Bone Lilian Leonor. (2019) Determinación del espesor de la capa de fosfatado en metales ferrosos en función de la concentración, temperatura y tiempo. Tesis de Licenciatura. Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- [10] Romero Bonilla Hugo, Vera Aravena Rosa, Redrovan Pesantez Felipe, Vera Infante Thalia, Fernández Vélez Vanessa. Efecto anticorrosivo de pinturas de poliuretano aplicadas sobre acero galvanizado sin tratamiento superficial. *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM* 22(44).
- [11] Menor de Gaspar Álvarez, Pedro (2020). *Comportamiento estructural de uniones atornilladas de acero en función del método de mecanizado de los agujeros* Máster en Ingeniería Industrial, 2020, Universidad de Cantabria URL: <http://hdl.handle.net/10902/18292>
- [12] Flores Dávila, Fernando Alberto Análisis de la precipitación de cementita en el acero ultrabajo carbono POSCO CWA0802 Tesis ESIQIE URI: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27939>
- [13] Madariaga Rosas Cristhian Harley, Modenesi Paulo José, Rincón Ortiz Mauricio. Efectos de los Active Flux sobre Soldaduras GMAW Aplicadas a un Acero AISI/SAE 1020. *Soldagem & Inspeção*. 2020;25:e2502. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI25.02>
- [14] Fernández-Columbié Tomás H., Gómez-Fernández Maikel, Lamorú-Urgellés Marbelis, Romero-Góngora Walter, Hernández-Verdecia Maikel. (2020) Transformaciones microestructurales por efecto del calor en una unión disímil de acero 17-4 PH y Hastelloy C-276. *Minería y Geología / v.36 n.1 / enero-marzo / 2020 / p. 81-91 ISSN 1993 8012*.
- [15] Ghali E., Potvin R. (1972) "The mechanism of phosphating of steel". *Corrosion Science*, volume 12, issue 7, pp 583-594.
- [16] Alvarado Macias G. (2012). "Estudio del proceso de formación de recubrimientos de fosfato de manganeso sobre aceros", Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Saltillo.
- [17] Galvan-Reyes C., Salinas Rodriguez A., Fuentes Aceituno J.C. (2015) "Degradation and crystalline reorganization of hureaulite crystals during the manganese phosphating of a high strength steel". *Surface and coatings technology*, volume 275, pages 10-20.

## Gestión del mantenimiento y la industria 4.0

### Maintenance management and industry 4.0

HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo<sup>†\*</sup>, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro

*Universidad Tecnológica de Puebla, División de Mantenimiento Industrial, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Gustavo, Herrera-Sánchez* / ORC ID: 0000-0001-5276-5062, Researcher ID Thomson: F-6595-2018, arXiv ID Author: herreraagh, CVU CONACYT ID: 459805

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Luz del Carmen, Morán-Bravo* / ORC ID: 0000-0002-7096-2075, Researcher ID Thomson: G-2686-2018, arXiv ID Author: XVRU3-JP9XUY, CVU CONACYT ID: 75419

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José Luis, Gallardo-Navarro* / ORC ID: 0000-0001-7954-4905, Researcher ID Thomson: F-8798-2018, arXiv ID Author: GALLARDO#1, CVU CONACYT ID: 629796

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Alejandro, Silva-Juárez* / ORC ID: 0000-0001-8473-9803, Researcher ID Thomson: F-6969-2018, arXiv ID Author: alejandrosilva1, CVU CONACYT ID: 637028

DOI: 10.35429/JOIE.2020.15.4.18.28

Recibido Julio 15, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

#### Resumen

El estudio tiene como propósito explorar acerca de la gestión del mantenimiento en la industria 4.0 con sus características como la realidad virtual, digitalización de operaciones, conectividad, robotización, datos en la nube, automatización, big data, etc., todo ello para aumentar la productividad en el sistema ciber – físico. La metodología desarrollada es a través de enfoque cualitativo mediante un estudio exploratorio o de acercamiento analizando múltiples realidades subjetivas, derivadas de una minería de datos y búsqueda de bibliográfica. Para la gestión de mantenimiento, parece más adecuado el enfoque de mantenimiento proactivo y el predictivo para alcanzar el nivel 4 de automatización de la norma ISA 95. Con esta reflexión se busca contribuir a identificar los retos que las empresas deben resolver, en este caso en el área de mantenimiento utilizando la terotecnología, ya que esta, tiene un enfoque sistémico que considera los indicadores Efectividad Global del Equipo y CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) y las estructuras horizontal y vertical como sistemas en la fábrica digitalizada, siempre teniendo en cuenta al personal como elemento primordial para el éxito.

**Industria 4.0, gestión del mantenimiento, Terotecnología**

#### Abstract

The purpose of the study is to explore on maintenance management in Industry 4.0 with its characteristics such as virtual reality, digitization of operations, connectivity, robotization, data in the cloud, automation, big data, etc., all to increase productivity in the cyber - physical system. The methodology developed is through a qualitative approach through an exploratory or approach study analyzing multiple subjective realities, derived from data mining and bibliographic search. For maintenance management, it seems more appropriate the proactive and predictive maintenance approach to achieve standard ISA 95 level 4 automation. This reflection seeks to contribute to identifying the challenges that companies must solve, in this case in the maintenance area using terotechnology, since it has a systemic approach that considers the Overall Equipment Effectiveness and CMD indicators (Reliability, Maintainability and Availability) and the horizontal and vertical structures as systems in the digitized factory, always taking into account personnel as a key element for success.

**Industry 4.0, Maintenance management, Terotechnology**

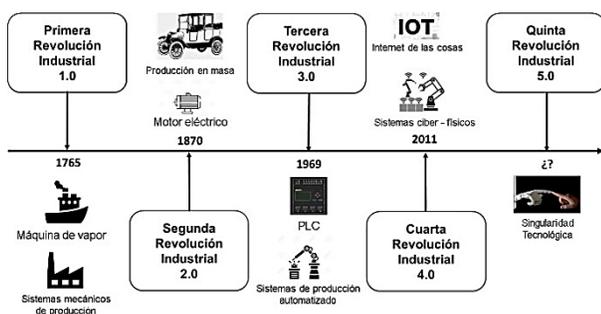
**Citación:** HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro. Gestión del mantenimiento y la industria 4.0. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-15:18-28.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: herreraagh@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Las revoluciones industriales han traído grandes cambios en las sociedades, en los sistemas productivos, en los sistemas educativos, en los sistemas económicos, en los sistemas ambientales, entre otros. El área de mantenimiento es una consecuencia de las diferentes revoluciones industriales. Desde la primera revolución industrial (Baca U., y otros, 2014) con la máquina de vapor y la producción en masa, con la segunda revolución industrial con su administración integración vertical, la electricidad y sus partes intercambiables, la tercera revolución industrial con el uso de las computadoras y la electrónica, hasta la cuarta revolución industrial con el internet de las cosas, la inteligencia artificial, fabricas inteligentes (Ynzunza, y otros, 2017), entre otros. Últimamente, ya se está hablando de la quinta revolución industrial que tiene que ver con la singularidad tecnológica, ver figura 1.



**Figura 1** Línea de tiempo de la revolución industrial

Fuente: Elaboración propia

Las revoluciones industriales han tenido como resultados importantes el aumento de la productividad en los sistemas productivos, incremento del nivel de la calidad de los productos y servicios ofrecidos al cliente, mayores beneficios económicos a las empresas, sin embargo, también gran cantidad de recursos que se deben utilizar de manera racional, mayores capitales, una mano de obra con nuevos conocimientos, lo cual genera costos elevados.

Para mantener una alta productividad, uno de los elementos primordiales es un mantenimiento adecuado a los procesos productivo iniciando con el mantenimiento correctivo hasta el mantenimiento predictivo, el cual es un elemento importante para la industria 4.0 (Meraz, Lerma, & Corral, 2019).

Se han realizado diferentes estudios del mantenimiento en relación con la industria 4.0, entonces, surge la pregunta cómo gestionar el mantenimiento industrial en el contexto de la industria 4.0, que debe hacer el profesional del mantenimiento ante este nuevo contexto industrial.

## Objetivo

El propósito de este estudio es explorar acerca de la gestión del mantenimiento en la industria 4.0 con sus características como la realidad virtual, digitalización de operaciones, robotización, datos en la nube, automatización, etc.

## Metodología

Esta metodología tiene un enfoque cualitativo mediante un estudio exploratorio o de acercamiento (Rojas Soriano, 2010, 40) analizando múltiples realidades subjetivas, derivadas de conceptos de la industria 4.0 y búsqueda de fuentes bibliográfica acerca del tema.

## Evolución del mantenimiento

Desde que la humanidad inventó diferentes herramientas para su supervivencia, fue necesario el mantenimiento a éstas. Éste sigue presente desde la primera revolución industrial hasta la cuarta revolución industrial y seguirá en las próximas. Los primeros sistemas formales de mantenimiento correctivo se desarrollaron en Estados Unidos de América a principios del siglo XX (Newbrough, Bracamonte, & Ramond, 1982). En la tabla 1, se observa la evolución del mantenimiento industrial (Mora G., 2006).

| Mantenimiento e ingeniería de fabricas |                        |   |  |
|--|------------------------|---|--|
| Etapa                                  | Sucede aproximadamente | Orientación hacia...  | Objetivo   |
| 1                                      | Antes de 1950          | Realizar acciones correctivas   | Reparar fallas imprevistas                                 |
| 2                                      | Entre 1950-1959        | Aplicar acciones planeadas  | Prevenir, predecir y reparar fallas                        |
| 3                                      | Entre 1960-1980        | Establecer tácticas de mantenimiento  | Gestionar y operar bajo un sistema organizado              |
| 4                                      | Entre 1981-1995        | Implementar una estrategia  | Medir costos, CMD, comparar, predecir índices, entre otros |
| 5                                      | Entre 1996-2003        | Desarrollar habilidades y competencias  | Aplicar ciencia y tecnología de punta                      |
| 6                                      | Entre 2004-2010        | Gestión y operación integral de activos   |  |
| 7                                      | 2011 hacia adelante    | Gestión de activos mediante nuevas tecnologías digitales: automatización, digitalización, robótica, ERP, entre otros. |  |

**Tabla 1** Evolución del mantenimiento

*Fuente: Elaboración propia con base en Mora G. (2006). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*

Si definimos al mantenimiento como un conjunto de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible (Dounce V., 2014). De esta definición se derivan los siguientes enfoques.

En el mantenimiento industrial se utilizan diferentes enfoques (Seguridad Minera, 2019): el reactivo que entra en acción hasta que se produzca la falla en el activo y teniendo como una de sus principales características un tiempo muerto costoso; el preventivo que planifica sus rutinas en periodos sea necesario o no su aplicación; el predictivo conocido como mantenimiento basado en condición del activo para definir el desgaste o posible falla; el proactivo que utiliza el mantenimiento basado en la condición del equipo para encontrar la fuente de la falla y minimizar su efecto.

Por otra parte, el enfoque sistémico basado en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) de los equipos para una adecuada gestión de los activos (Mora, 2013).

La terotecnología, con un enfoque logístico de crear valor en el servicio (Ballou, 2004) involucra el diseño del activo, su construcción, operación y mantenimiento asociado al costo de ciclo de vida para obtener una mayor eficiencia y eficacia teniendo un enfoque de negocios (Flores P., 2015).

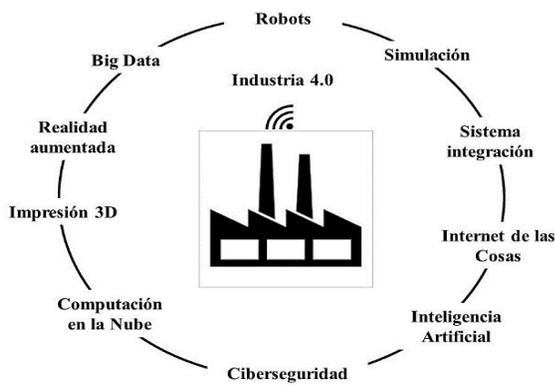
En el panorama actual de la industria 4.0, es importante definir cuál enfoque de mantenimiento industrial es el que más coadyuva a los objetivos de esta revolución industrial.

### Industria 4.0

Como un elemento disruptivo para incrementar la productividad surge la industria 4.0 y con beneficios (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019) como incremento en la calidad de los productos y servicios, mayor flexibilidad, operaciones normalizadas, mejora continua, incremento en la competitividad, nuevas oportunidades del mercado, nuevos perfiles de puestos de trabajo, nuevos modelos de negocios, entre otros.

La industria 4.0 tiene como tecnologías (Basco, Beliz, Coatz, & Garnero, 2018) sistemas ciber – físicos de integración, máquinas y robots, internet de las cosas (IoT), impresión 3D, big data y análisis de macro datos, computación en la nube, simulación de entornos virtuales, inteligencia artificial, ciberseguridad, y realidad aumentada, entre las principales.

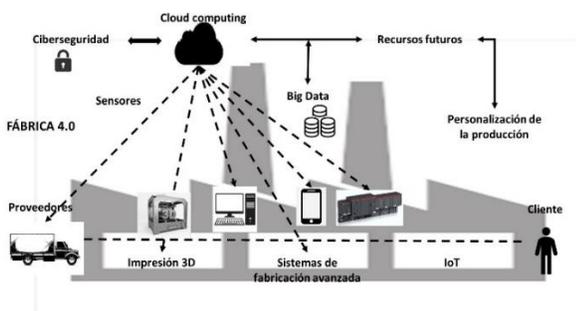
Para que todo esto sea posible, la digitalización y conectividad, de personas y objetos, son los componentes disruptivos para establecer la conexión máquina – máquina (M2M), peer – peer (P2P), máquina – persona (M2P), máquina – producto y producto – persona mediante teléfonos celulares inteligentes, computadoras, sensores, wearables, entre otros, ver figura 2.



**Figura 2** Industria 4.0 y sus tecnologías  
 Fuente: Adaptación de AMETIC

Las fábricas inteligentes requieren de: la gestión del diseño de productos y sistemas productivos; la digitalización de la producción y del ciclo de vida del producto y de los activos; las comunicaciones y la ciberseguridad; nuevos modelos de organización y de gestión. Con estos elementos se estará integrando un sistema ciber – físico (Lizarraga, 2018), que se define como un mecanismo dotado de capacidades de computación y de comunicación que los convierten en objetos inteligentes con capacidad para cooperar entre ellos formando ecosistemas distribuidos y autónomos con la finalidad de aumentar la productividad y ser competitivos en un mundo global.

Las plantas del futuro o fabricas 4.0 desarrollan los siguientes temas: la gestión del diseño de productos y sistemas productivos; la digitalización de la producción y todo el ciclo de vida del producto; las comunicaciones industriales y su ciberseguridad; un nuevo modelo de organización y de gestión (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019). Todo lo anterior mediante la big data en la computación en la nube y la ciberseguridad, en consecuencia, con la realidad aumentada y realidad virtual e internet de las cosas, la impresión 3D que da pie a fabricar lo que la empresa necesite en tiempo y forma, ver figura 3.



**Figura 3** La fábrica del futuro 4.0  
 Fuente: Adaptación de MOOC Industria 4.0

Por otro lado, la fábrica del futuro 4.0 debe alcanzar un nivel de automatización de nivel 4 de acuerdo con la norma ISA – 95 (Salinas, 2017) para el desarrollo de las interfaces entre la Planificación de los Recursos de la Empresa (ERP) y los Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES) y la Manufactura Integrada por Computadora (CIM), ver figura 4.



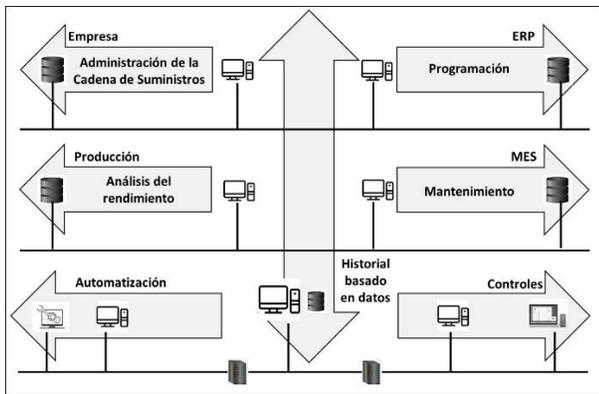
**Figura 4** Los niveles de automatización  
 Fuente: Adaptación de Norma ISA - 95

Este nivel 4 de automatización permite que por medio de un ERP se planifique todos los recursos necesarios de semanas a días, en el nivel 3 mediante un MES se planifiquen, optimicen y administren los planes de la planta en horas, en el nivel 2 la automatización, control de procesos avanzados en minutos, en el nivel 1 análisis estadístico y rectificación del control básico en segundos, en el nivel 0 medición y detección, monitoreo en tiempo real. En los diferentes niveles se manejan los datos pertinentes a cada uno de ellos, por ejemplo, en el nivel 4 métricas de la empresa, tales como ventas, finanzas, recursos humanos, entre otros KPI's.

Los procesos son diversos e involucran a diferentes elementos en una fábrica, que se deben integrar, entonces, el concepto de integración alineado a la industria 4.0 se divide en integración horizontal e integración vertical. El primero se refiere a toda cadena productiva: desde proveedores hasta clientes. El segundo, integra las funciones a ser desarrolladas dentro de la fábrica.

Otro aspecto importante en la industria 4.0 es el sistema ciber – físico que busca la integración vertical y horizontal en la cadena de valor (Neri, 2019), como se mencionó anteriormente, con la comunicación máquina – máquina (M2M), máquina – internet, máquina – persona (M2P), entre otras.

La integración horizontal son las actividades primarias como operación, ventas, logística, etc., se tienen que optimizar y coordinar en tiempo real para que la cadena de valor sea óptima. En consecuencia, las actividades secundarias, en las cuales se incluye al mantenimiento, también deben ser optimizadas y coordinadas en tiempo real que es la integración vertical de la cadena de valor, véase figura 5.



**Figura 5** Integración horizontal y vertical Industria 4.0  
Fuente: Adaptación de MOOC Industria 4.0

De la integración horizontal entre producción y mantenimiento, la incidencia en la fase de diseño del sistema ciber – físico es primordial en la puesta en marcha, pero también va a tener gran impacto en la fase de implementación, éste sistema permitirá intercambiar datos en todo momento con el sistema real, lo que permitirá obtener información relevante, que mejorará los modelos empleados en sucesivos desarrollos, pero sobre todo mejorar tareas propias de la implementación como la gestión automatizada del mantenimiento (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019), y el aumento de eficiencia a todos los niveles del sistema real en operación y derivado de esto, aumento en la productividad de la fábrica digital 4.0.

El mantenimiento en las industrias 4.0 es una parte fundamental de un sistema integrado adaptándose a los objetivos de aumentar la eficiencia y eficacia de los recursos, por ende, aumento de la productividad. El mantenimiento predictivo trabaja con circuitos lógicos programables (PLC) para la medición y análisis de datos mediante sensores para anticipar los fallos potenciales de los equipos productivos.

Con el Internet de las Cosas (IIoT) se incorpora el aprendizaje automático y la tecnología de big data para la comunicación de datos constantemente, advirtiendo rápidamente a las empresas sobre ineficiencias y evitando costosas fallas (Navas, 2015). Es la tendencia actual y futura del mantenimiento en la industria 4.0 (Segovía, 2019).

### Gestión del mantenimiento

La función de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción por medio de actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones.

Otro factor que ha acompañado a las revoluciones industriales es la gestión de las áreas de las empresas. La gestión empresarial se refiere a la toma de decisiones (Hernández, 2011) con los conceptos claves de: planificar, organizar, dirigir y controlar. Entonces, el concepto de gestión se relaciona con la dirección de empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es crear bienes o servicios que contribuyan a elevar el nivel de la humanidad a través de trabajadores manuales y del conocimiento, según Peter Drucker (Rivera, 2006).

En mantenimiento es necesario reconocer dos aspectos básicos: gestión y operación. El primero concerniente al manejo de los recursos, a su planificación y su control, mientras que el segundo se refiere a la relación física del servicio de mantenimiento. Para implementar este proceso sistémico se requiere establecer una organización que permita gestionar el sistema de mantenimiento, de tal forma que se pueda tener una planificación detallada y específica de las rutas y actividades del mantenimiento por realizar en las máquinas críticas.

La misión principal de mantenimiento es garantizar que las máquinas y equipos de la empresa estén disponibles cuando lo requiera el cliente o usuario. Con la mayor confiabilidad en el tiempo solicitado para la operación.

Con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigida previamente por el demandante, para producir bienes y servicios que satisfagan sus necesidades, deseos o requerimientos. En los niveles de calidad, cantidad y tiempos solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mejores índices de productividad, desperdicios, rechazos, productos conformes, costo de producción, costo de mantenimiento y con ello, contribuir a elevar la competitividad de la empresa para optimizar su rentabilidad.

Como resultado de la gestión de mantenimiento, se origina el Plan Maestro de Mantenimiento (PMM), con el cual se planifican y programan rutinas de mantenimiento preventivo a las máquinas críticas del sistema productivo. Para esto, se requiere establecer niveles de criticidad en las máquinas y equipos, diseñar y aplicar rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo, planificar y organizar los recursos necesarios de acuerdo con el presupuesto asignado y necesidades del plan maestro de producción (PMP).

Es importante señalar que las rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo del PMM requieren fuentes de información como: las instrucciones del fabricante; instrucciones genéricas y experiencia de los técnicos del área; análisis de fallas que se pretenden evitar (García, 2020).

Para el control del PMM, los indicadores de mantenimiento son el instrumento de medición y mejora. Estos miden la utilización de los recursos de manera racional y el logro de objetivos: disponibilidad, tiempo medio entre fallas (TMEF), tiempo medio para reparar la falla (TMPR), tiempo medio para fallar (TMPF) mantenibilidad, confiabilidad, gestión de órdenes de trabajo (OT), costos, tipos de mantenimiento aplicado, inventarios de refacciones y suministros, capacitación, principalmente. Todo es buscando un equilibrio entre los beneficios esperados y costo del mantenimiento.

Un indicador que involucra a producción y mantenimiento es la Efectividad Global de Equipos, OEE, por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), que representa la capacidad real para producir sin defectos, el rendimiento del proceso y la disponibilidad de los equipos y necesita de información diaria del proceso que sea veraz, oportuna y verificable, su cálculo es mediante la siguiente ecuación:

$$EEO = D * R * C \tag{1}$$

Donde:

D = disponibilidad de la maquinaria

R = Rendimiento de producción

C = calidad

Los resultados del EEO se muestran en la tabla 2. Actualmente, es complicado para una empresa estar en el nivel de excelente

| EEO, % | Variación  | Descripción   |
|--------|------------|---|
| 0-64   | Deficiente | Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.   |
| 65-74  | Regular    | Es aceptable solo si se está en proceso de mejora, pérdidas económicas y baja competitividad.                 |
| 75-84  | Aceptable  | Debe continuar la mejora para alcanzar la excelencia, ligeras pérdidas económicas y competitividad aceptable. |
| 95-94  | Bueno      | Esta en valores de una empresa de clase mundial, buena competitividad.  |
| 95-100 | Excelente  | Empresa de clase mundial, alta competitividad.  |

**Tabla 2** Valores de EEO  
Fuente: Adaptación de FullFact.com

El OEE es una métrica de valoración comparativa, que permite ser utilizado para evaluar los diferentes componentes del proceso de producción y mantenimiento, más aún, es un indicador apropiado al momento de medir los avances reales en 5S, Lean Manufacturing, Kaizen, TPM y Six Sigma (Salazar, 2019).

## Discusión

El mantenimiento industrial en las industrias 4.0 debe ser diferente a cómo se está realizando en la actualidad en la mayoría de las empresas debido al enfoque correctivo y preventivo en las PYMES y enfoque preventivo y predictivo en las grandes empresas. Debe generarse un cambio en las técnicas de mantenimiento y en las actitudes y aptitudes de los técnicos.

Iniciaremos la discusión con las nuevas estructuras de la industria 4.0 que son vertical y horizontal. Producción y mantenimiento siempre han sido socios en los sistemas productivos, puede ser que haya cierto antagonismo entre estas áreas, sin embargo, su labor depende una de otra, si una obtiene buenos resultados, la otra en consecuencia también. Entonces, es prioritario que su trabajo sea colaborativo integrando el PMM con el PMP, tanto en el ERP como en el MES. De esta forma el aprendizaje entre ambas áreas será relevante y enfocado hacia el logro de la industria 4.0.

En este sentido, el recurso humano para mantenimiento debe tener características, habilidades y conocimientos acerca del dominio de estas tecnologías disruptivas más los conocimientos propios del área de mantenimiento. Los lenguajes de programación, machine learning, internet industrial de las cosas (IIoT), análisis de datos, estadística industrial, comunicación virtual, son algunos de los temas que deben conocer y dominar.

En esta industria 4.0, la digitalización es el elemento disruptivo del trabajo, quienes mejor se adapten a este entorno laboral cambiante serán quienes adopten una mentalidad de flexibilidad, innovación y conocimiento. Para el año 2020, el 45 por ciento de la población activa serán trabajadores del conocimiento, como resultado de la revolución digital (Guerrero, 2017). Esto origina a los knowmads, nómadas del conocimiento, término acuñado por Moravec para los trabajadores nómadas del conocimiento y la innovación:

“persona caracterizada por ser innovadora, imaginativa, creativa, capaz de trabajar en colaboración con casi cualquier persona, en cualquier momento y lugar, (Moravec & Cobo, 2011).”

Además de eso, el enfoque de mantenimiento proactivo es la investigación de las causas raíces que llevan al fallo, para aumentar la fiabilidad a través de la reingeniería de los activos, y la reducción de la gestión del mantenimiento a través de la reingeniería de activos, métodos, procesos y sistemas a su alcance (Tavares, 2010). El enfoque de Mantenimiento predictivo se refiere a los servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componentes de equipos críticos por medio de análisis de síntomas o estimación mediante evaluación estadística, supervisión del funcionamiento y determinación del punto exacto del cambio (Dounce V., 2014). Se considera que estos enfoques son apropiados para la fábrica inteligente.

La industria 4.0 debería adoptar los enfoques de mantenimiento proactivo y la terotecnología, ya que esta última, se fundamenta en el enfoque sistémico y además, está relacionada con las especificaciones, el diseño para la confiabilidad y mantenibilidad de equipos, maquinaria, edificios y estructuras, a la puesta en marcha de máquinas, a la conservación y servicio, a las modificaciones, a las ampliaciones y al reemplazo de los equipos; así como a la retroalimentación de información sobre el diseño, desempeño y costos de maquinaria, es decir, todo el costo de ciclo de vida del activo (Mora, 2013).

La terotecnología también involucra los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CDM) y el costo de ciclo de vida del activo y algunas normas internacionales que coadyuvan a su implementación como la Norma Británica BS 3811 y la norma ISO 50000, Gestión de Activos.

Las tecnologías que se utilizan para lograr el nivel 4 de automatización de acuerdo con la ISA 95, implica el dominio, los conocimientos y la aplicación de las tecnologías de la industria 4.0, por parte de los técnicos de mantenimiento. El área de mantenimiento por lo menos debería estar en el nivel 3 de automatización, MES.

La integración vertical y horizontal van a recolectar gran cantidad de datos, big data, en tiempo real y estarán depositados en la nube, cloud computing, su análisis, interpretación y toma de decisiones, que se espera que este proceso de toma de decisiones sea automático y llevado a cabo por robots colaborativos, llamados cobots.

Entre las tecnologías de la industria 4.0 la realidad virtual y realidad aumentada nos dan un ejemplo muy interesante que ya se empieza a utilizar en la actualidad es el empleo del sistema ciber – físico para la gestión del mantenimiento preventivo. La realidad aumentada es una tecnología que permite superponer datos o imágenes físicas, con datos del modelo del gemelo digital, el cruce de datos en este momento se usa simplemente a modo de diagnóstico, pero en un futuro muy cercano servirá para sentar la base de actuación en la resolución de problemas, o incluso automatizar la toma de decisiones sobre medidas para mejorar la eficiencia en los procesos de mantenimiento (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019).

Por otro lado, la integración horizontal al nivel más bajo del modelo de Industria 4.0, va a depender fuertemente del desarrollo y la implantación de estándares de comunicación de máquina a máquina (M2M). El propósito de esto es compilar datos para su procesamiento y evaluación. En este punto, OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) ya se ha utilizado y será aún más común en el futuro como una arquitectura general para garantizar el intercambio de información necesario entre los fabricantes y, para garantizar la interoperabilidad de los diversos componentes (Montoya, 2019). Esto indica que se deberán fortalecer los protocolos de comunicación para el big data, comunicación en la nube, ERP, MES, entre otros.

La implantación de estándares abiertos como OPC UA, así como el desarrollo de nuevos estándares pensados específicamente para soportar la Internet Industrial de las Cosas (IIoT), van a contribuir de manera decisiva a recoger y compartir los datos de la planta de manera ordenada y eficaz, permitiendo su posterior integración vertical, para análisis y procesamiento.

Es de especial interés toda esta comunicación M2M para la gestión del mantenimiento en la industria 4.0. Por lo tanto, la ciber seguridad también es un factor clave para mantener seguros los datos y evitar corrupciones o robo de datos.

Las actividades de producción y mantenimiento son evaluadas de diferentes formas, como se mencionó líneas arriba. De acuerdo con el indicador OEE, las empresas solo deben producir (Ferrer, 2018) piezas de acuerdo con los requerimientos de calidad, lo más rápido posible y sin tiempo de inactividad, entonces el valor del indicador clave (KPI) es 100%, que es lo que se aspira en la industria 4.0. En el mercado existen varias empresas que ofrecen Smart OEE, OEE inteligente, como Sistemas OEE con clientes como Florette, Dantza, Tasubinsa, entre otros (Sistemas OEE, 2020) que han mostrado resultados alentadores.

Actualmente, el área de mantenimiento debe tener herramientas que permitan que sus procesos sistematizados estén integrados, para suministrar información confiable y oportuna para el desarrollo de la gestión y la toma de decisiones acertadas. Existen software para la gestión del PMM conocidos como Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) o CMMS (Computerized Maintenance Management System).

El sistema debe trabajar con datos compartidos e interrelacionados, lo que permite que la información fluya en las estructuras horizontal y vertical en tiempo real. Los datos ingresados y almacenados en la base de datos una sola vez deben estar disponibles para cualquier usuario que tenga acceso al sistema. Hay software como EEO Toolkit 8 Entry de la empresa FullFact que su producto tiene características esenciales para la industria 4.0 como data confiable, escalabilidad, fácil integración con ERP, CMMS, Control Estadístico del Proceso, entre otras. Este tipo de software son la tendencia integrarse a los MES y ERP.

Los indicadores CMD deben ser integrados a los GMAO y como consecuencia, a los MES y ERP. Por ejemplo, el caso análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos (Cuaical, Buenaño, & Moreno, 2019), es una evidencia de la integración de los datos de la maquinaria para evaluar y mejorar su operación y como resultado aumentar su productividad.

Finalmente, la gestión del mantenimiento tendrá un cambio radical en su forma de trabajar, las grandes y medianas empresas tienen los recursos para convertirse a corto y mediano plazo en industria 4.0 asimilando los conocimientos y tecnologías de esta con una clara visión de los beneficios de la industria 4.0. Mientras que las MIPES tienen un gran reto para migrar de su enfoque correctivo – preventivo a un enfoque proactivo.

### Agradecimiento

Este estudio en gran parte se debe al apoyo de la División de Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de Puebla para el Cuerpo Académico Calidad y Productividad.

### Conclusiones

Si partimos de del estudio realizado por el Foro Económico Mundial, el 88% de las organizaciones aún no entienden las implicaciones de la Industria 4.0 para sus modelos de negocio (Arrieta, 2017), entonces, aún hay un camino largo para recorrer para la gran mayoría de las empresas y la gestión del mantenimiento también.

Sin embargo, desde nuestro punto de vista, el futuro la gestión del mantenimiento es a través de los enfoques predictivo y proactivo, el uso de GMAO para generar PMM inteligentes en las estructuras vertical y horizontal, la comunicación M2M. Ya también se habla de los GMAO 4.0 o inteligentes por medio de interfaces. Las interfaces entre los diferentes sistemas de información en toda la estructura de la fábrica inteligente deberán ser eficientes y eficaces para que la comunicación fluya de manera adecuada.

Por otro parte, es importante el personal de mantenimiento por que ellos serán los decisores en las acciones a desarrollar en el sistema de mantenimiento, deben ser trabajadores de conocimiento y knowmad, pues esta visión de nómada del conocimiento e innovación, los llevaran a conservar y mantener el servicio de la maquinaria. Además, hay que considerar a los robots colaborativos, como trabajadores manuales y de conocimiento.

El enfoque técnico – económico de la terotecnología que involucra desde el diseño del activo hasta su reemplazo, es decir, el costo de ciclo de vida del activo hace adecuado su incrustación en la industria 4.0 para tener un mantenimiento de clase mundial.

Por último, la industria 5.0 con sus características de singularidad tecnológica y donde el ser humano es el elemento principal y el robot, el colaborador. Lo único cierto, es que como en todo lo único segura es el cambio en las empresas.

### Referencias

- Arrieta, E. (8 de Noviembre de 2017). *Diez empresas que lideran la industria 4.0*. Obtenido de Expansión. Economía Digital: <https://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2017/11/08/59f8a85922601d1b458b4618.html>
- Baca U., G., Cruz, M., Cristobal, M. A., Baca C., G., Gutiérrez, J. C., Pacheco, A., . . . Obregón, M. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. México: Grupo Editorial Patria.
- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garneró, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el Futuro*. Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cuaical, B., Buenaño, L. F., & Moreno, L. (2019). Análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos. *Revista Científica FIPCAEC Vol. 4 Núm. 4, ISSN 2588-090X*, 145-170.

- Dounce V., E. (2014). *La productividad en el mantenimiento industrial*. México: Grupo Editorial Patria.
- Ferrer, J. M. (3 de Diciembre de 2018). *De la industria digital a la industria 4.0*. Obtenido de 480: <https://cuatroochenta.com/de-la-industria-digital-a-la-industria-4-0/>
- Flores P., A. (2015). Terotecnología: Generadora de riqueza y fiabilidad en la industria-experiencia en la industria. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Vol.2 No.5 ISSN-En línea: 2410-3454, 273-279*.
- García, S. (3 de Mayo de 2020). *Formas de elaborar un plan de mantenimiento*. Obtenido de Renovetec: <http://mantenimiento.renovetec.com/plan-de-mantenimiento>
- Guerrero, M. (4 de Septiembre de 2017). *Trabajadores del conocimiento en la industria 4.0*. Obtenido de Kaizen, mejora continua: <https://manuelguerrerocano.com/trabajadores-de-conocimiento/>
- Hernández, H. (2011). La gestión empresarial, un enfoque del siglo XX, desde las teorías administrativas científica, funcional, burocrática y de relaciones humanas. *Escenarios • Vol. 9, No. 1, Enero-Junio*, 35-51.
- Lizarraga, J. (2018). *Introducción a la Industria 4.0. Conceptos básicos y ejemplos prácticos*. Vitoria Gasteiz: Mondragon Unibertsitatea.
- mantenimiento, L. p. (2014). *Dounce Villanueva, Enrique*. México: Grupo Editorial Patria.
- Martínez, M. L., De Juanes, J., Hernández, J. C., & Pérez, J. M. (2019). *MOOC - Industria 4.0. Nosotros y las tecnologías para la industria del futuro*. Madrid: Miriadax Universidad Politécnica de Madrid.
- Meraz, M., Lerma, C., & Corral, G. (2019). La Industria 4.0 en el Mantenimiento Industrial. *Revista de Ingeniería Industrial. Vol.3 No.7 ISSN 2523-0344, 17-24*.
- Montoya, D. (10 de Julio de 2019). *La comunicación M2M revolucionará la industria*. Obtenido de Logística. Revista Énfasis: <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/83912-la-comunicacion-m2m-revolucionara-la-industria>
- Mora G., A. (2006). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano*. Antioquia, Colombia: AMG.
- Mora, A. (2013). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.
- Moravec, J., & Cobo, C. (2011). *Aprendizaje invisible. hacia una nueva ecología de la educación*. Barcelona: Transmedia XXI.
- Navas, M. (Abril de 2015). *El internet industrial de las cosas*. Obtenido de National Instruments: [https://www.redeweb.com/ficheros/articulos/ni\\_1628283324.pdf](https://www.redeweb.com/ficheros/articulos/ni_1628283324.pdf)
- Neri, J. (18 de Agosto de 2019). *Integración vertical y horizontal de sistemas en la industria*. Obtenido de IMEPI: <https://imepi.com.mx/industria-4-0-integracion-vertical-horizontal/>
- Newbrough, E., Bracamonte, M., & Ramond, A. (1982). *Administración del mantenimiento industrial: organización, motivación, y control en el mantenimiento industrial*. México: Diana.
- Rivera, J. (2006). Management y Liderazgo en Peter Drucker. *Capital Humano, N° 195, 38-44*.
- Rojas Soriano, R. (2010, 40). *Guía para realizar investigaciones sociales. Primera tirada octava impresión*. México: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Salazar, B. (4 de Noviembre de 2019). *Eficiencia Global de los Equipos (EEO)*. Obtenido de Ingeniería Industrial Online.com: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/eficiencia-global-de-los-equipos-oe/>

Salinas, J. L. (26 de Septiembre de 2017). *Estándar ISA 95: Integración de los Sistemas de Control Empresarial*. Obtenido de InTech México Automatización: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2017/09/26/estandar-isa-95-integracion-de-los-sistemas-de-control-empresarial/>

Segovía, J. (19 de Agosto de 2019). *Mantenimiento e Industria 4.0*. Obtenido de EADIC: <https://www.eadic.com/mantenimiento-e-industria-4-0/>

Seguridad Minera. (19 de Febrero de 2019). *Seguridad Minera*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/cuatro-enfoques-basicos-de-mantenimiento/>

Sistemas OEE. (5 de Mayo de 2020). *Casos de éxito*. Obtenido de Sistemas OEE: <https://www.sistemasoe.com/clientes/#casos-de-exito>

Tavares, L. (2010). *Administración moderna del amntenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicações.

Ynzunza, C., Izar, J., Larios, M., Aguilar, F., Bocarando, J., & Acosta, Y. (2017). Implicaciones de la industria 4.0 en el trabajo y la competencia del capital humano. *Revista de Tecnología e Innovación Marzo 2017 Vol.4 No.10 5-13*ISSN-2410-3993, 5-13.

.

## Control PID basado en odometría visual monocular a un vehículo de superficie marino

### Monocular visual odometry based PID control to a marine surface vehicle

MENDOZA-RUIZ, Francisco†, REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc\*, ALAZKI, Hussain y RULLÁN-LARA, José Luis

*Universidad Autónoma del Carmen. Facultad de Ingeniería y Tecnología, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Francisco, Mendoza-Ruiz* / ORC ID: 0000-0003-1865-9930, CVU CONACYT ID: 919556

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José Cuauhtémoc, Reyes-De Coss* / ORC ID: 0000-0002-3419-905X, Researcher ID Thomson: AAP-3078-2020, CVU CONACYT: 920250.

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Hussain, Alazki* / ORC ID: 0000-0002-1960-3624, Researcher ID Thomson: M-1706-2017

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *José Luis, Rullán-Lara* / ORC ID: 0000-0002-6007-1025

DOI: 10.35429/JOIE.2020.15.4.29.36

Recibido Julio 20, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

#### Resumen

En este trabajo el objetivo es estudiar el comportamiento de un vehículo marino de superficie con un control basado en visión. Utilizamos un algoritmo DMVO (Odometría visual directa monocular) que se basa en la extracción de características de dos imágenes tomadas consecutivamente en dos instantes de tiempo continuos para estimar la posición de un vehículo marino, el cual fue modelado sin tomar en cuenta las perturbaciones externas para aplicar un control de tipo Proporcional Integral Derivativo (PID) basado en visión con el fin de estudiar el comportamiento de este mediante simulaciones, haciendo uso de las herramientas computacionales necesarias para simular un escenario 3D y poder obtener la matriz que contiene la imagen tomada desde el marco de referencia inercial del vehículo. Teniendo en cuenta que un escenario estático que contenga puntos de referencia es necesario para poder así aplicar el algoritmo de control basado en visión propuesto; el escenario virtual fue diseñado en el editor de mundos virtuales de MATLAB que nos permite agregar sensores, como lo son cámaras, y configurar sus parámetros para realizar el estudio, y simulaciones como el seguimiento de trayectorias.

**Visión artificial, Control PID, USV**

#### Abstract

The aim of this work is to study the behavior of a marine vehicle applying vision-based control. We use a DMVO algorithm (Direct Monocular Visual Odometry) that is based at the feature extraction of two image frames taken consecutively at two continuous tame frames in order to estimate a marine vehicle's position; vehicle's dynamics are modeled without external perturbations and therefore apply a vision based Proportional Integral Derivative (PID) control for the study of its behavior through simulations using computational tools to simulate a 3D scenario and get the matrix that contains the image from the inertial frame of reference view from the vehicle. First we need a static scenario that contains reference points such that we are able to apply the proposed vision based PID control; the virtual scenario was designed at the MATLAB's virtual world editor that let us add sensors such as cameras, and set their parameters for make the study and simulations such as path following.

**Artificial Vision, PID Control, USV**

**Citación:** MENDOZA-RUIZ, Francisco, REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, ALAZKI, Hussain y RULLÁN-LARA, José Luis. Control PID basado en odometría visual monocular a un vehículo de superficie marino. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-15:29-36.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los vehículos autónomos pueden realizar tareas que requieren la precisión para realizar un seguimiento de trayectorias indicadas; es por esto que es de gran importancia su estudio y desarrollo, no sólo para diversas tareas sino para diversos entornos como lo son el terrestre, aéreo y marítimo, por lo que estos últimos están siempre compitiendo en términos de las aplicaciones que pueden realizar, así como su autonomía energética, capacidad de carga y maniobrabilidad (Volker, 2008).

Por otra parte, los vehículos no tripulados más comunes y más estudiados son los de tipo aéreo, denominados UAV (Unmanned Aerial Vehicles por sus siglas en inglés), sobre los cuales se han desarrollado todo tipo de estudios y aplicado todo tipo de algoritmos para el control de su trayectoria y orientación, desde control clásico, inteligente y robusto, comunmente con el soporte de GPSs, sensores inerciales, entre otros; actualmente con las cámaras les permiten estimar su posición y mapear su entorno, dotándolos de la capacidad no sólo de seguir una trayectoria predeterminada, sino de evadir obstáculos lo que les brinda una autonomía aún mayor.

Sin embargo, los estudios e investigaciones realizados enfocados en los vehículos marinos no tripulados antes de la década de los 90 parecían limitarse a la operación remota de estos (Vaneck *et al.*, 1996). Es después de la década de los 90 donde se encuentra un particular interés en ellos para realizar tareas de monitoreo y recolección de datos batimétrico (Manley y Marsh, 2000), por lo que para finales de esa década ya se habían implementado dentro de la estructura de este tipo de vehículos una gran cantidad de sensores en diferentes configuraciones para realizar estas tareas (Bertram, 2008). Con un enfoque similar, se desarrolló el USV denominado SESAMO, el cual fue utilizado en la antártica para una investigación de campo (Cassia y Bono, 2005), así como el ROAZ II, utilizado para realizar tareas de soporte y de manera coordinada con un UUV (Ferreira *et al.*, 2010).

Después de muchos años de desarrollo de los USV, también podemos encontrar investigaciones y experimentos sobre algoritmos para el seguimiento de trayectorias para este tipo de vehículos como se menciona en (Zizzari *et al.*, 2009), donde se tiene el objetivo de dirigir un USV cuyo comportamiento es subactuado, definiendo ciertas leyes de navegación en nivel tanto cinemático como dinámico, utilizando un tipo de control no lineal basado en Lyapunov para el Yaw, así como el control por backstepping (Bubuli *et al.*, 2010) y demostrando así resultados experimentales de la factibilidad de este trabajo aún bajo ciertas perturbaciones como el viento y olas. Un año más tarde, en 2008 con el propósito de converger los errores con respecto al valor de referencia a cero, se mejoran así trabajos anteriores, y se aplican a un USV denominado Charlie (Zezari *et al.*, 2009) desarrollado por la CNR-ISSIA, obteniendo resultados satisfactorios de manera tanto numérica como experimental cumpliendo su propósito inicial.

Las aplicaciones para las que se han utilizado este tipo de vehículos son la caracterización visual y acústica del fondo marino en entornos costeros de aguas poco profundas mediante la adquisición combinada de ecogramas e imágenes de video (Zereik, Bibuli y Bruzzone, 2013), demostrando la efectividad de este tipo de plataformas robóticas. Otra de las aplicaciones recopiladas son las de el monitoreo de las aguas costeras y estuarinas, sin embargo, era necesario el transporte a un laboratorio para su análisis por lo que el desarrollo de la instrumentación in situ sobre el vehículo marino ahora hace posible la recopilación de datos en tiempo real, y con la incorporación de vehículos operados de forma remota se logra una densidad de datos mucho mayor tanto a escala temporal como espacial (Zereik *et al.*, 2015).

Es notable que a medida que se desarrolla la navegación autónoma de los vehículos aéreos, terrestres y acuáticos, la visión y la percepción ha ganado cada vez más atención en los últimos años dado que es posible estimar el movimiento de un robot analizando los cambios de la perspectiva de la cámara a bordo. Los lazos de control con la visión como retroalimentación fueron introducidos para incrementar la flexibilidad y la precisión de los sistemas robóticos (Malis, 2002).

El objetivo de este tipo de sistemas es controlar la dinámica de un robot utilizando información proveniente de un sistema de visión, más generalmente, la visión puede ser usada para controlar diversos sistemas como, por ejemplo, vehículos, drones y submarinos. Los sistemas de visión están generalmente clasificados ya sea dependiendo del número de cámaras o de la posición en la que se encuentran (Sanderson y Weiss, 1980) y los sistemas de una sola cámara son usados generalmente debido a que pueden ser más baratos y su implementación conlleva un menor costo computacional que los sistemas de visión multi-cámara (Hutchinson, 1996).

Por otra parte, usar dos cámaras en una configuración estéreo con un campo de visión común hace más fácil varios problemas severos de computación. Si la o las cámaras se encuentran montadas sobre el robot el sistema es llamado “in-hand”, por el contrario, si la cámara observa el robot desde una perspectiva fija, son sistemas llamados “out-hand”; existen los sistemas híbridos, los cuales cuentan con sistemas de visión In-Hand sobre la estructura, así como un sistema Out-Hand que observa la escena (Malis, 2002).

### Modelo dinámico del vehículo marino

Por otra parte, para aplicar control y estudiar el comportamiento de este, es necesario un modelo matemático de la dinámica del vehículo marino con ciertas características, en este caso un vehículo marino tipo Catamarán, cuyo comportamiento ha sido estudiado en (Velueta, 2019) tomando en cuenta no sólo incertidumbres en el modelo sino perturbaciones externas, aplicando SMC (Sliding Mode Control, por sus siglas en inglés) para rechazar las perturbaciones. El modelo está basado en la segunda ley de Newton, como se puede encontrar más detalladamente en (Fossen, 1991) la tarea del modelado, siendo uno de los primeros en estudiar este problema. Definiendo los siguientes vectores de estado mediante las dos ecuaciones siguientes:

$$\eta = [\eta_1 \ \eta_2]^T = [x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$$

$$v = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$$

Donde  $\eta$  es el vector de la posición y orientación del vehículo y  $v$  es el vector de velocidades lineal y angular.

Entonces, el modelo completo que incluye la cinemática y la cinética se encuentra definido mediante las siguientes ecuaciones:

$$\dot{\eta} = J(n_2)v$$

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v = \tau_E + \tau$$

Donde  $\tau$  es el vector de fuerzas externas y momentos que actúan sobre el cuerpo rígido,  $\tau_E$  son las fuerzas y momentos de las perturbaciones externas que para nuestro estudio  $\tau_E = 0$ , y  $J(n_2)$  es una matriz diagonal compuesta por dos matrices de rotación  $J_1(\eta_2)$  y  $J_2(\eta_2)$ , definidas como:

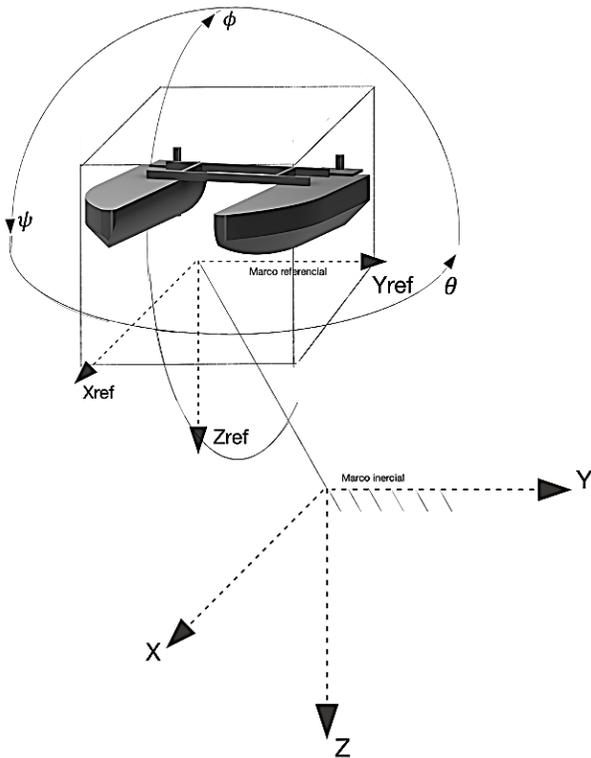
$$J_1(n_2) := \begin{bmatrix} c_\psi c_\theta & s_\psi c_\theta + c_\psi s_\theta s_\phi & s_\psi s_\theta + c_\psi c_\theta c_\phi \\ s_\psi c_\theta & c_\psi c_\theta + s_\theta s_\phi s_\psi & c_\psi s_\theta + s_\theta s_\psi c_\phi \\ s_\theta & c_\theta s_\phi & c_\theta c_\phi \end{bmatrix}$$

$$J_2(n_2) := \begin{bmatrix} 1 & s_\phi t_\theta & c_\phi t_\theta \\ 0 & c_\phi & s_\phi \\ 0 & \frac{s_\phi}{c_\theta} & \frac{c_\phi}{c_\theta} \end{bmatrix}$$

Donde  $s_\gamma = \sin(\gamma)$ ,  $c_\gamma = \cos(\gamma)$  y  $t_\gamma = \tan(\gamma)$ .

Otros parámetros del modelo completo son  $M = M_{RB} + M_A$  y  $C(v) = C_{RB}(v) + C_A(v)$ , donde  $M_{RB}$  y  $C_{RB}$  son las matrices de inercia y fuerza centrípeta, y  $M_A$  y  $C_A(v)$ , son las matrices de masa añadida debido a la inercia del líquido que rodea el cuerpo rígido.  $D(v)$  es la matriz de arrastre hidrodinámico que incluye términos cuadráticos y lineales dentro de ella.

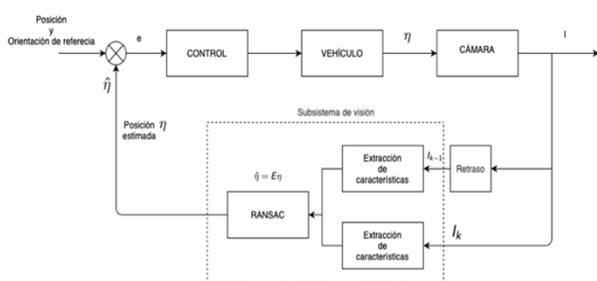
Se puede notar en la matriz  $J_1(n_2)$  que existe una singularidad en  $\theta = \pm \pi/2$ , que para los barcos no es un problema ya que el dominio de trabajo del ángulo Pitch es mucho menor que  $\pm \pi/2$ . En la figura 1 se pueden apreciar el marco de referencia inercial y el marco referencial, así como el modelo del vehículo marino diseñado para realizar pruebas en tiempo real.



**Figura 1** Marcos inerciales y referenciales  
Fuente: Elaboración propia

**Algoritmo de control PID basado en visión**

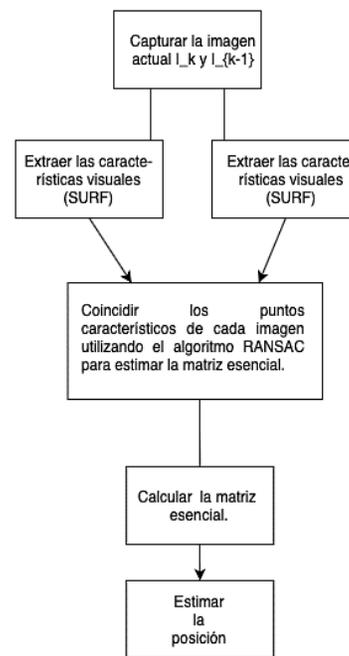
Para nuestro estudio utilizamos un control PID basado en visión, cuyo sistema está basado en la posición como señal de retroalimentación para la ley de control, cuya ventaja principal es que todo se encuentra en el espacio cartesiano. En la figura 2 podemos encontrar un diagrama representativo del sistema de control que utilizamos en este trabajo.



**Figura 2** Esquema del sistema de control basado en visión  
Fuente: Elaboración propia

**Odometría visual monocular 2D-2D**

El algoritmo para la estimación sigue el siguiente esquema encontrado en la figura 3, que se encarga de tomar una imagen en el tiempo  $t$  y  $t - 1$ , para así extraer características visuales mediante la técnica SURF (Spedded Up Robus Features), para utilizar el algoritmo RANSAC basado en los puntos extraídos y poder calcular la matriz esencial que nos permite estimar la posición actual del vehículo.



**Figura 3** Diagrama de flujo del algoritmo de odometría visual monocular  
Fuente: Elaboración propia

La diferencia principal con el esquema estéreo es que en la odometría monocular, es que tanto el movimiento relativo como la estructura tridimensional deben calcularse a partir de datos de trayectoria 2-D. Como se desconoce la escala absoluta, la distancia entre las dos primeras poses de la cámara generalmente se establece en un valor, y cuando se obtiene una nueva imagen, la escala relativa y la posición de la cámara con respecto a los dos primeros cuadros se determinan utilizando el conocimiento de la estructura tridimensional o el tensor trifocal (Hartley y Zisserman, 2003). Entonces, el conjunto de imágenes tomadas se encuentra denotado por  $I_{0:n} = \{I_0, \dots, I_1\}$ , por lo que la tarea principal del algoritmo es estimar las transformaciones relativas entre las imágenes  $I_k$  y  $I_{k-1}$ , y aplicar estas a la posición inicial y así obtener la trayectoria de la cámara.

Trabajamos con el modelo para cámara más utilizado, el de un sistema de proyección a través de un agujero, donde  $X = (x, y, z)^T$  el punto de la escena proyectada en marco de referencia de la cámara y  $p = (u, v)^T$  la proyección sobre en el plano de la imagen medida en pixeles. Este mapeo entre el mundo 3D y el 2D se encuentra dado por la ecuación de proyección perspectiva:

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = KX = \begin{bmatrix} \alpha_u & 0 & u_0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Entonces, para calcular la correspondencia dada en transformaciones geométricas entre dos imágenes  $I_k$  y  $I_{k-1}$  de una cámara calibrada, es necesario calcular la llamada Matriz Escencial E, denotada por la siguiente ecuación:

$$E_k \cong \hat{t}_k R_k$$

Donde  $t_k = [t_x \ t_x \ t_z]^T$  y:

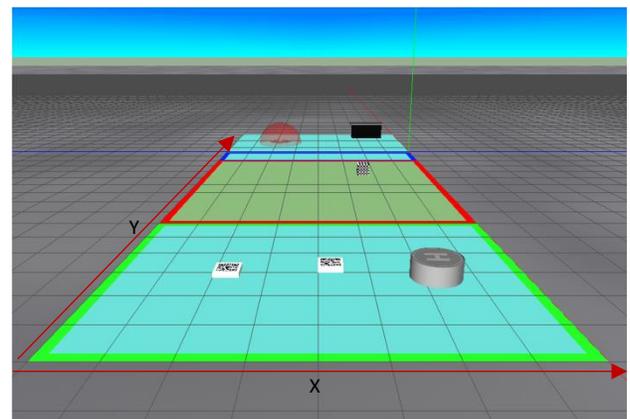
$$\hat{t}_k = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix}$$

Donde el vector  $t_k$  representa las traslaciones en las tres dimensiones ( $t_x, t_y, t_z$ ), y  $R_k$  es un matriz ortogonal que contiene la orientación de la cámara en el instante k. Entonces, es posible extraer la traslación y la rotación directamente de la matriz E, utilizando el algoritmo de 5 puntos de Nister, cuya implementación resulta eficiente y se ha vuelto un estándar en la estimación de posición basado en correspondencias 2D-2D [cite].

De lo que se obtiene una solución de la forma  $AE = 0$ , por lo que resolviendo el sistema los parámetros de E pueden ser calculados, por lo que se SVD (Singular Value Decomposition, por sus siglas en inglés). Este es resuelto utilizando una descomposición eficiente descrita en (Nistér, 2004) y llegar a la forma  $E = tR$  donde R es una matriz de rotación de donde es posible obtener directamente la orientación.

## Resultados

Para realizar las simulaciones necesarias es necesario utilizar una herramienta de MATLAB llamada Editor de Mundos Virtuales, y así poder obtener una salida de nuestro sistema en términos de una matriz, que es nuestra imagen que utilizamos para estimar la posición mediante el algoritmo de odometría visual directa. En la figura 4 podemos visualizar dicho mundo virtual 3D diseñado, y que nos permite incluir sensores, como lo son cámaras, arreglo de cámara estéreo, sensores de distancia, sensores LIDAR, entre otros.



**Figura 4** Diseño del mundo virtual creado en MATLAB  
Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que, para aplicar este algoritmo de visión, es necesario un escenario estático para poder estimar la posición y obtener los puntos característicos necesarios para que el algoritmo RANSAC pueda encontrar una correspondencia entre los dos cuadros, por lo que podemos observar blancos con patrones definidos que simulan una escena estática. En la figura 5 podemos ver la salida de nuestro sistema, que es una imagen tomada desde la perspectiva del vehículo, y la figura 6 después de extraer las características y agregar los marcadores en estos puntos, para así correlacionar los dos puntos y poder estimar la matriz escencial y aplicar un algoritmo de descomposición, actualizando la posición estimada y usándola como salida de retroalimentación para el control PID.

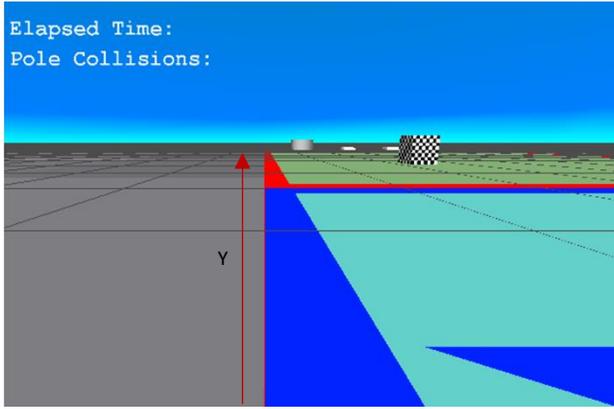


Figura 5 Salida de los sensores virtuales del sistema

Fuente: Elaboración propia

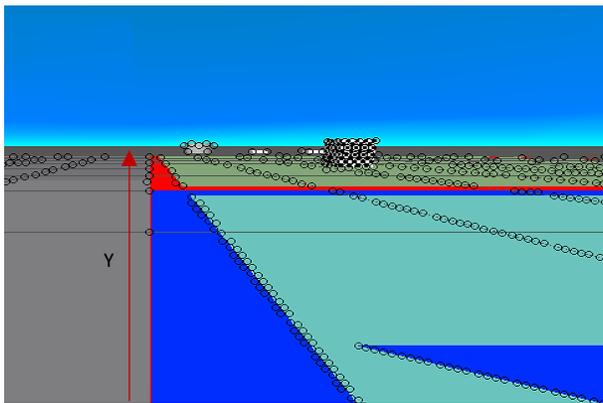


Figura 6 Salida de los sensores virtuales aplicando el extractor de características

Fuente: Elaboración propia

Las constantes proporcional, integral y derivativa fueron obtenidas por ajuste, obteniendo los resultados que se muestran en las figuras 7, 8 y 9. Por otra parte la tabla 1 contiene los parámetros del control PID, que se obtuvieron mediante prueba y error hasta alcanzar la respuesta deseada.

| Tipo de constante | Valor |
|-------------------|-------|
| Proporcional      | 4.243 |
| Integral          | 0.824 |
| Derivativa        | 2.439 |

Tabla 1 Parámetros del controlador PID obtenidos por ajuste

Fuente: Elaboración propia

Otro parámetro importante es la matriz de arrastre hidrodinámico  $D(v)$ , que depende de la geometría del cuerpo rígido, que contiene una parte lineal y otra no lineal. La parte lineal determinada mediante SolidWorks, y cuyo valor es:

$$D(v) = \begin{bmatrix} -0.5262 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.169 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0408 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0069 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0544 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0913 \end{bmatrix}$$

En la figura 7 podemos observar la salida del sistema y la referencia aplicando el control PID basado en visión, comportándose de una manera adecuada conforme al seguimiento de una trayectoria sinusoidal, definida mediante el siguiente vector de estados:

$$\eta_d = \left[ t \quad 10\sin(0.2t) \quad \arctan\left(\frac{y_d}{x_d}\right) \right]^T$$

Con las condiciones iniciales determinadas como  $\eta_d = [0 \ 0 \ 0]^T$ , y un tiempo de simulación de 50 segundos. La figura 7 muestra la trayectoria deseada y la salida de nuestro sistema, en términos de la variable espacial “x” y “y”.

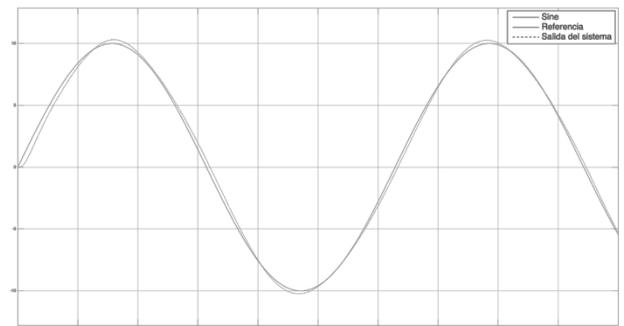


Figura 7 Referencia y salida del sistema. Aplicando control PID basado en visión

Fuente: Elaboración propia

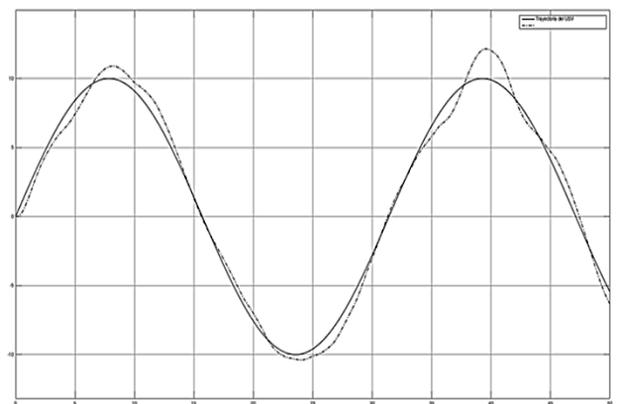
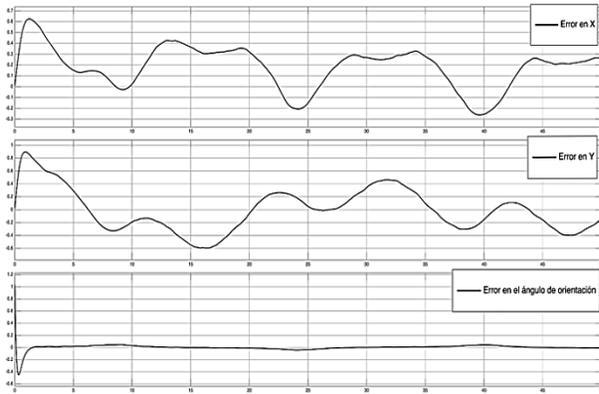


Figura 8 Referencia y salida del sistema. Aplicando control PD convencional

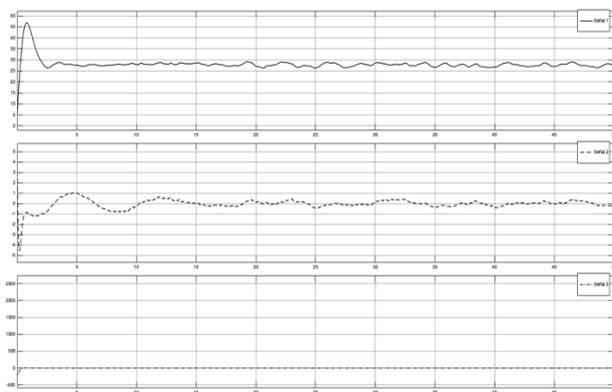
Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se encuentra el error en cada variable de control, como o son la posición y un ángulo de orientación, estos con un valor menor que 1 para la posición, así como el error del ángulo de orientación el cual converge a cero. Por último, en la figura 9 podemos observar cómo se comporta la señal de control para cada variable en el tiempo.



**Figura 9** Error con respecto a la referencia dada

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 10** Salidas del control PID

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 8 podemos apreciar el comportamiento de un controlador PD convencional sin visión, en comparación con nuestro método, los resultados son mejores que este.

### Agradecimiento

Agradecimientos a la Universidad Autónoma del Carmen por facilitarme los laboratorios de sus instalaciones, material y apoyo humano, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el recurso otorgado por pertenecer a la institución dentro del PNPC.

### Conclusiones

Se utilizó el modelo de un vehículo marino de superficie sin tomar en cuenta las perturbaciones externas con el fin de estudiar el desempeño al aplicar un control tipo PID basado en visión, llevando el modelo matemático a Simulink de MATLAB con el fin de obtener resultados mediante simulaciones, por lo que también se implementó el algoritmo de visión, y se observó un seguimiento de la trayectoria deseada lo que abre la posibilidad de incluir otro tipo de control con el fin de comparar su desempeño, así como implementar un mejor tipo de estimación basada en visión para mejorar los resultados, ya que el algoritmo MVO utilizado presenta una variación con respecto a la posición real del vehículo. Esto abre la posibilidad de poder implementar este tipo de control en tiempo real sobre un vehículo marino y estudiar su desempeño, sin embargo, es necesario estudiar más tipos de control y visión para escoger el que tenga mejores resultados incluyendo perturbaciones para que su desempeño en tiempo real no se vea afectado.

### Referencias

- Bertram, V. (2008). Unmanned surface vehicles-a survey. Skibsteknisk Selskab, Copenhagen, Denmark, 1, 1-14.
- Manley, J. E., Marsh, A., Cornforth, W., & Wiseman, C. (2000, September). Evolution of the autonomous surface craft AutoCat. In OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37158) (Vol. 1, pp. 403-408). IEEE.
- Ferreira, H., Martins, R., Marques, E., Pinto, J., Martins, A., Almeida, J., ... & Silva, E. P. (2007, June). Swordfish: an autonomous surface vehicle for network centric operations. In Oceans 2007-Europe (pp. 1-6). Ieee.
- Caccia, M., Bono, R., Bruzzone, G., Spirandelli, E., Veruggio, G., Stortini, A. M., & Capodaglio, G. (2005). Sampling sea surfaces with SESAMO: an autonomous craft for the study of sea-air interactions. IEEE robotics & automation magazine, 12(3), 95-105.

Bibuli, M., Bruzzone, G., Caccia, M., Caiti, A., & Di Lecce, N. (2010). A sliding mode based guidance system for vehicle-following operations. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(20), 342-347.

Bibuli, M., Caccia, M., & Lapierre, L. (2007). Path-following algorithms and experiments for an autonomous surface vehicle. *IFAC Proceedings Volumes*, 40(17), 81-86.

Zizzari, A. A., Indiveri, G., Bibuli, M., Bruzzone, G., & Caccia, M. (2009). Path following guidance control with bounded control effort: Application to the charlie unmanned surface vehicle. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(18), 109-114.

Zereik, E., Bibuli, M., Bruzzone, G., & Caccia, M. (2013). Jacobian task priority-based approach for path following of unmanned surface vehicles. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(33), 114-119.

Zereik, E., Sorbara, A., Bibuli, M., Bruzzone, G., & Caccia, M. (2015). Priority Task Approach for USVs' Path Following Missions with Obstacle Avoidance and Speed Regulation. *IFAC-PapersOnLine*, 48(16), 25-30.

A. C. Sanderson and L. E. Weiss. Image based visual servo control using relational graph error signal. In *Proc. of the Int. Conf. on Cybernetics and Society*, pages 1074–1077, Cambridge, MA, October 1980.

S. Hutchinson, G. D. Hager, and P. I. Corke. A tutorial on visual servo control. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 12(5):651–670, October 1996.

Velueta, M. J., Rullan, J. L., Ruz-Hernandez, J. A., & Alazki, H. (2019). A Strategy of Robust Control for the Dynamics of an Unmanned Surface Vehicle under Marine Waves and Currents. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.

Fossen, T. I. Nonlinear modelling and control of underwater vehicles. Fakultet for informasjonsteknologi, matematikk og elektroteknikk, 1991.

Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.

Nistér, D. (2004). An efficient solution to the five-point relative pose problem. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 26(6), 756-770.

## Evaluación de un clasificador de textos digitales basado en el contenido semántico a través de ontologías

### Evaluation of a digital text classifier based on semantic content through ontologies

HERNÁNDEZ-GARCÍA, Héctor Daniel†\*, NAVARRETE-ARIAS, Dulce J., PÉREZ-BAUTISTA, Mario y PAREDES-REYES, Eliud

*Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Héctor Daniel, Hernández-García* / ORC ID: 0000-0001-5261-8353, Researcher ID Thomson: P-4823-2018, CVU CONACYT ID: 208146

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Dulce J., Navarrete-Arias* / ORC ID: 0000-0002-7915-068X, CVU CONACYT ID: 366071

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Mario, Pérez-Bautista* / ORC ID: 0000-0002-3260-906X, CVU CONACYT ID: 638669

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Eliud, Paredes-Reyes* / ORC ID: 0000-0003-4621-2589, CVU CONACYT ID: 638197

DOI: 10.35429/JOIE.2020.15.4.37.44

Recibido Julio 25, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

#### Resumen

En la actualidad la generación de información a través de documentos de texto digitales ha incrementado exponencialmente, por lo que se tiene la necesidad de almacenar estos documentos en dispositivos de almacenamiento masivos como discos duros de alta capacidad, servidores de almacenamiento, la nube, entre otros. Sin embargo, el almacenamiento que se realiza carece de una organización temática, por lo que, realizar una búsqueda de información se vuelve complejo. Ante esta problemática, la presente publicación describe el desarrollo de un sistema que tiene como propósito clasificar un documento de texto digital basado en el contenido temático. Este sistema implementa ontologías para lograr una mejor clasificación al aprovechar sus características. El sistema se divide en cinco tareas: la primera, es implementar un autómata que realiza el conteo de palabras para crear un vector de frecuencias; la segunda tarea realiza una refinación en el vector de frecuencias para eliminar los conectores de oraciones y las preposiciones; la tercera tarea ordena el vector de la frecuencia más alta hasta las más baja; la cuarta tarea toma el conjunto más significativo del vector de frecuencias, al cual se le aplica la ontología de un dominio y busca la relación que tienen las palabras para determinar la temática del documento; y la quinta tarea consiste en organizar los documentos en una estructura de carpetas basado en los dominios identificados. El sistema se desarrolló con la metodología de desarrollo incremental. Para validar el funcionamiento del sistema se realizaron un conjunto de pruebas en un escenario controlado a fin de verificar la correcta clasificación de los documentos.

**Ontologías, Clasificador de textos, Autómatas**

#### Abstract

Nowadays, the generation of information through digital text documents has increased exponentially, so there is a need to store documents in mass storage devices such as high capacity hard discs, storage servers, the cloud and others. However, the storage that is carried out lacks a thematic organization, therefore, a search for information becomes complex. Given this problem, this publication describes the development of a system that has the purpose of classifying a digital text document based on the thematic content. This system implements ontologies to achieve a better classification by taking advantage of its characteristics. The system is divided into five tasks: the first is the implementation of a word count to create a frequency vector; The second task performs a refinement on the frequency vector to eliminate the sentence connectors and prepositions; the third task orders the vector from the highest to the lowest frequency; the fourth task takes the most significant set of frequencies vector, in which the ontology of a domain is applied and the relation that the words have to determine the thematic of the document is sought; and the fifth task is to organize the documents in a folder structure based on the identified domains. The system was developed with the incremental development methodology. To validate the operation of the system, a set of tests was carried out in a controlled scenario in order to verify the correct classification of the documents.

**Ontologies, Text classifier, Automata**

**Citación:** HERNÁNDEZ-GARCÍA, Héctor Daniel, NAVARRETE-ARIAS, Dulce J., PÉREZ-BAUTISTA, Mario y PAREDES-REYES, Eliud. Evaluación de un clasificador de textos digitales basado en el contenido semántico a través de ontologías. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-15:37-44.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: [hhernandez@itsoeh.edu.mx](mailto:hhernandez@itsoeh.edu.mx))

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La actual era de la información se caracteriza por una expansión extraordinaria de datos que son generados y almacenados de manera dispersa en distintos puntos conectados en una red tan amplia como Internet. En este mar de documentos se oculta información que puede o no ser relevante para los diversos dominios del conocimiento humano.

Una situación como ésta ha dado origen a uno de los más grandes retos que se enfrenta la sociedad actual, el cual consiste, principalmente, en la definición de nuevos modelos, estrategias y herramientas que le permitan de manera eficiente describir, clasificar, almacenar y encontrar información relevante dentro de este mar de documentos. Se han hecho estudios que demuestran que la mayoría de información que se encuentra almacenada de manera dispersa en distintos sitios conectados a través de Internet es del tipo “no estructurada” (Wilks & Catizone, 2000), es decir de tipo textual.

Este hecho enfatizó la relevancia que tuvo la aparición de la Web (Berners-Lee, Fielding, & Frystyk, 1996) con el protocolo HTTP como un mecanismo para acceder a documentos cuya información se encuentra representada por páginas HTML (Specification, 1999). Sin embargo, a pesar de contar con esta tecnología tenemos el problema de la clasificación de documentos puesto que hasta el momento el almacenamiento de documento textuales se limita a ser almacenados en un dispositivo identificándolo únicamente con un nombre y una extensión.

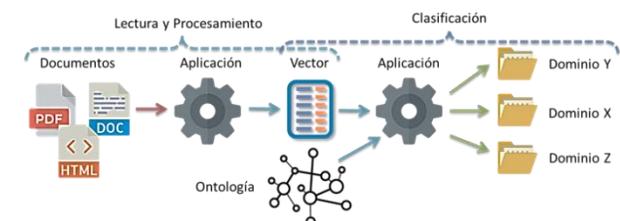
Este mecanismo presenta un problema al momento de buscar información ya que al solo poder ser identificados con un nombre y una extensión no es posible determinar el contenido temático que contiene el documento ya que en la mayoría de veces los usuarios colocan nombres a sus archivos los cuales no tienen ninguna relación con el contenido temáticos de éstos, estas acciones conllevan a que al momento de buscar cierta información es necesario tener que abrir el documento para determinar el contenido temático de éste.

En este trabajo se presenta una herramienta que implementa vectores de frecuencias, sobre las palabras encontradas en el documento, y ontologías que determinan la relación existente entre estas palabras para determinar el dominio o tema. Las ontologías de acuerdo con Tom Gruber (Gruber, 1995) “es una descripción, como una especificación formal de un programa, de los conceptos y relaciones que pueden formalmente existir para un agente o comunidad de agentes”. En otras palabras, es una estructura jerárquica que describe instancias, conceptos, atributos y relaciones sobre un dominio o tema en específico.

Actualmente, existen diferentes trabajos que realizan la clasificación de documentos de texto digitales como StringTagger que implementa un clasificador bayesiano simple para la clasificación de cadenas de texto (Python, 2018), Método de Clasificación Automática de Textos basado en Palabras Claves utilizando Información Semántica, es una aplicación a Historias Clínicas que aprovecha la información semántica existente extrayendo 3 o 5 palabras claves de cada tipo de enfermedad para clasificar (Lopez Condori, 2014), y Regulón DB que clasifica texto mediante atributos probabilísticos de coocurrencia de palabras (Sanchez Vega, 2012). La diferencia entre los trabajos mencionados y lo que se presenta es la implementación de las características de una ontología.

## Metodología

Para el desarrollo de esta herramienta se implementó el lenguaje Java y la metodología de desarrollo incremental (Pressman, 2010) que divide el desarrollo de software en incrementos funcionales como resultados de la ejecución de cinco etapas (comunicación, planeación, modelado, construcción y despliegue).



**Figura 1** Funcionalidad de la herramienta

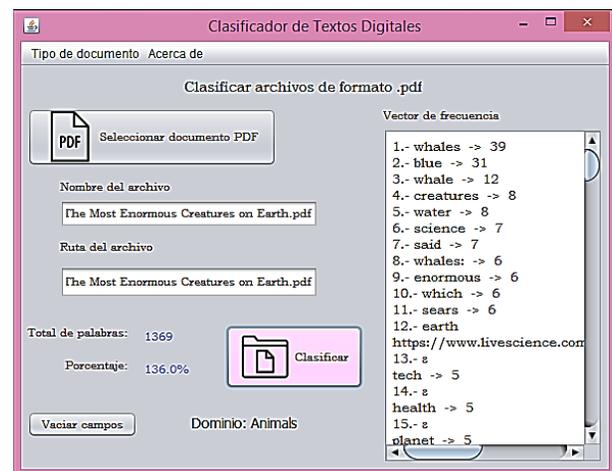
Como se puede observar en la Figura 1 el funcionamiento general de la herramienta se divide en dos tareas: lectura y procesamiento de los documentos, y la clasificación de éstos. Sin embargo, la herramienta fue planeada en tres incrementos: el primero realiza la lectura y procesamiento del documento al seleccionar el archivo a clasificar, contabilizar las palabras contenidas, crear el vector de frecuencias, depurar éste último a fin de eliminar las palabras menos significativas (conectores, preposiciones, pronombres, etc.) y devolver como salida un porcentaje del vector con las palabras que obtuvieron el mayor índice de frecuencia; el segundo incremento consiste en implementar, a través de librerías, ontologías en el lenguaje Java para ser consultadas, como entrada recibe una ontología en formato OWL (Web Ontology Language) y dos palabras para devolver la descripción y relación existente entre éstas; el tercer y último incremento hace la clasificación al recibir el porcentaje de palabras significativas del vector de frecuencias, consultar la ontología, determinar el dominio o tema que representa el documento a través de identificar, en la ontología, las relaciones existentes entre las palabras contenidas en el vector y ubicar el documento en un conjunto de carpetas representativas a diferentes dominios.

Para validar el funcionamiento de la herramienta en la clasificación de documentos, se estableció un conjunto de pruebas bajo un escenario controlado que consistió en hacer un banco de 120 documentos digitalizados en inglés, de éstos 30 son del dominio de animales, 30 del dominio de enfermedades, 30 del dominio de plantas y 30 de cualquier otro dominio.

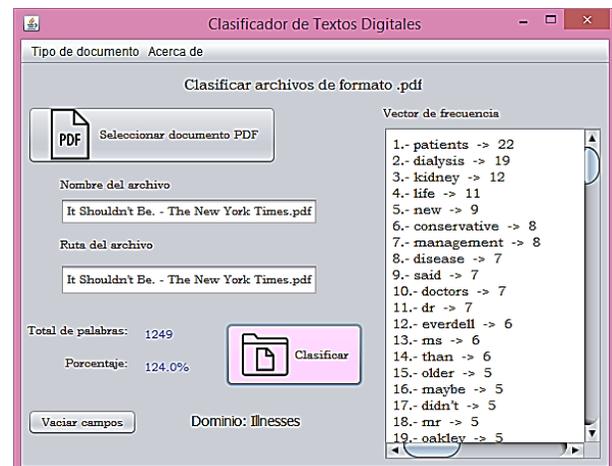
Posteriormente, conseguir 3 ontologías en formato OWL que pertenezcan a los dominios antes mencionados para clasificar los documentos. Por último, Establecer la variable de pruebas que controló el porcentaje de palabras que se tomaron del vector de frecuencias, para ésta establecieron arbitrariamente los valores de 5% y 10%. Una vez realizado lo anterior, el conjunto de pruebas se planeó con un total de 11 ejecuciones por dominio y porcentaje de palabras tomadas del vector de frecuencias, es decir, 22 ejecuciones por dominio o 66 ejecuciones en total.

## Resultados y Discusión

En la Figura 2 y Figura 3 se pueden observar resultados del primer incremento que abarca la selección del documento a clasificar y la obtención de un porcentaje del vector de frecuencias, donde éste permitirá sintonizar la cantidad de palabras a tomar del vector completo para lograr la clasificación. La Figura 2 muestra el vector de frecuencias de un documento digital en el dominio de animales, mientras que la Figura 3 muestra el vector de un documento digital en el dominio de enfermedades. Como resultado del segundo y tercer incremento se tiene la lectura de ontologías en formato OWL a través de librerías y la consulta de éstas para obtener la relación entre dos palabras.



**Figura 2** Interfaz del primer incremento con el dominio de animales



**Figura 3** Interfaz del primer incremento con el dominio de enfermedades

Como resultado de la tercera etapa se tiene la clasificación de documentos, por lo tanto, para validar el funcionamiento de la herramienta se implemento el escenario de pruebas descrito en la sección de metodología y los resultados obtenidos son los siguientes. En el dominio de animales con un porcentaje del 10% en el vector de frecuencia, los resultados se pueden observar en la Tabla 1, y en el Gráfico 1, donde se tiene que de 120 documentos se tuvo una mediana de 32 documentos clasificados de los cuales 29 pertenecen al dominio y 3 fueron falsos positivos, es decir, documentos clasificados en el dominio pero que no pertenecen. Por lo tanto, ante este escenario de pruebas se tiene una eficiencia del 96.66% en la clasificación ya que de los 30 documentos que pertenecen al dominio 29 fueron clasificados, pero con una probabilidad del 10% de ser falso positivo al clasificar 3 documentos erróneamente.

| Prueba | Documentos analizados | Documentos identificados | Falsos positivos | Total de documentos identificados |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 2      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 3      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 4      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 5      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 6      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 7      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 8      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 9      | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 10     | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |
| 11     | 120                   | 29                       | 3                | 32                                |

Tabla 1 Resultados con el dominio Animales con el 10% del vector de frecuencias

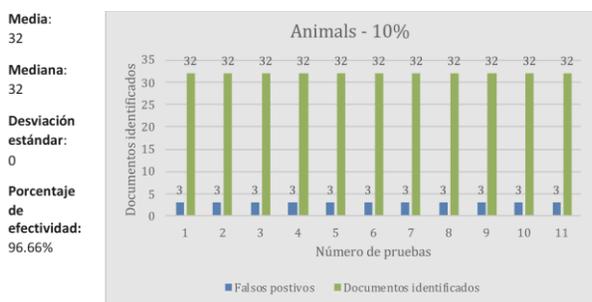


Gráfico 1 Estadísticas de los resultados con el dominio Animales con el 10% del vector de frecuencias

En la Tabla 2 se pueden observar los documentos que fueron falsos positivos en la clasificación, los dominios a los que pertenecen y la palabra contenida que provoco la clasificación falsa.

| Nombre del documento  | Dominio al que SI pertenece | Palabra dentro de la ontología Animals |
|---|-----------------------------|--|
| America's Cup_ Wipeouts and wizardry mark covert battle - CNN.                                  | Deportes                    | - Mule                                 |
| LeBron James is first player in the NBA's top 10 all-time scoring and assists lists - BBC Sport | Deportes                    | - Horse                                |
| Are these bizarre music myths too good to be true_ - BBC Music.                                 | Música                      | - Animal                               |

Tabla 2 Descripción de documentos falsos positivos en el dominio de Animales con el 10% del vector de frecuencias

En el dominio de enfermedades con un porcentaje del 10% en el vector de frecuencia, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 3, y en el Gráfico 2, donde se tiene que de 120 documentos se tuvo una mediana de 37 documentos clasificados de los cuales 30 pertenecen al dominio y 7 fueron falsos positivos. Por lo tanto, en este escenario de pruebas se tiene una eficiencia del 100% en la clasificación ya que a pesar de tener falsos positivos los 30 documentos para este dominio fueron clasificados, con una probabilidad del 23% de tener un falso positivo al clasificar 7 documentos erróneamente.

| Prueba | Documentos analizados | Documentos identificados | Falsos positivos | Total de documentos identificados |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1      | 120                   | 30                       | 6                | 36                                |
| 2      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 3      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 4      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 5      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 6      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 7      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 8      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 9      | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 10     | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |
| 11     | 120                   | 30                       | 7                | 37                                |

Tabla 3 Resultados con el dominio Enfermedades con el 10% del vector de frecuencias

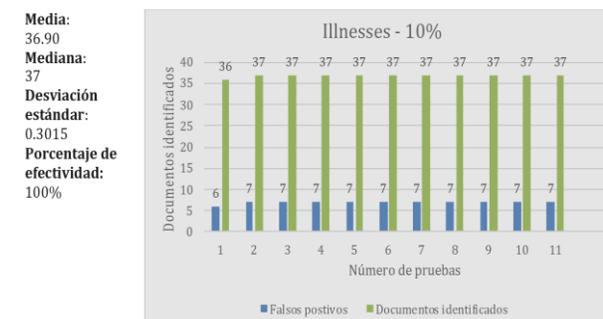


Gráfico 2 Estadísticas de los resultados con el dominio Enfermedades con el 10% del vector de frecuencias

En la Tabla 4 se pueden observar los documentos que fueron falsos positivos en la clasificación, los dominios a los que pertenecen y la palabra contenida que provoco la clasificación falsa.

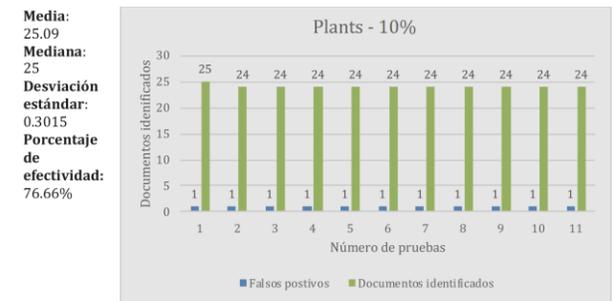
| Nombre del documento   | Dominio al que SI pertenece | Palabra dentro de la ontología Animals |
|--|-----------------------------|--|
| An Economy in Need of Holistic Medicine - The New York Times.                          | Política                    | Health<br>Symptoms<br>Disease          |
| Is There Room in 2020 for a Centrist Democrat_ Maybe One or Two - The New York Times.  | Política                    | Health                                 |
| Kamala Harris and Michael Bloomberg Clash on Medicare for All - The New York Times.    | Política                    | Health                                 |
| Clues to How Ancient Plants Handled Fungal Pests _ The Scientist Magazine.             | Plantas                     | Infection                              |
| Deforestation Tied to Changes in Disease Dynamics _ The Scientist Magazine.            | Plantas                     | Disease                                |
| Denmark Is Building a \$12 Million Border Wall for Pigs                                | Animales                    | Health                                 |
| USDA Unveils New Gene-Stacking Tool to Prevent Plant Diseases _ The Scientist Magazine | Plantas                     | Fungal<br>Disease                      |

**Tabla 4** Descripción de documentos falsos positivos en el dominio de Enfermedades con el 10% del vector de frecuencias

En el dominio de plantas con un porcentaje del 10% en el vector de frecuencia, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 5 y en el Gráfico 3, donde se tiene que de 120 documentos se tuvo una mediana de 25 documentos clasificados de los cuales 24 pertenecen al dominio y 1 fue falso positivo. Por lo que, en este escenario de pruebas se tiene una eficiencia del 80% en la clasificación ya que de los 30 documentos que pertenecen al dominio 24 fueron clasificados, pero con una probabilidad del 3.33% de ser falso positivo al clasificar 1 documento erróneamente.

| Prueba | Documentos analizados | Documentos identificados | Falsos positivos | Total de documentos identificados |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 2      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 3      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 4      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 5      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 6      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 7      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 8      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 9      | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 10     | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |
| 11     | 120                   | 24                       | 1                | 25                                |

**Tabla 5** Resultados con el dominio Plantas con el 10% del vector de frecuencias



**Gráfico 3** Estadísticas de los resultados con el dominio Plantas con el 10% del vector de frecuencias

En la Tabla 6 se pueden observar los documentos que fueron falsos positivos en la clasificación, los dominios a los que pertenecen y la palabra contenida que provoco la clasificación falsa.

| Nombre del documento  | Dominio al que SI pertenece | Palabra dentro de la ontología Plantas |
|---|-----------------------------|--|
| Foxconn Is Reconsidering Plan for Wisconsin Factory - The New York Times. | Política                    | Plant                                  |

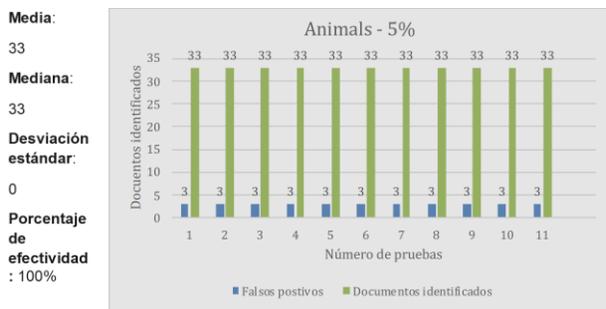
**Tabla 6** Descripción de documentos falsos positivos en el dominio de Plantas con el 10% del vector de frecuencias

Los resultados anteriores fueron para los tres dominios con un porcentaje del 10% de representación del vector de frecuencias. Los resultados de estos tres dominios, pero con un porcentaje del 5% de representación se describen a continuación. En el dominio de animales con un porcentaje del 5% en el vector de frecuencia, los resultados se pueden observar en la Tabla 7 y en el Gráfico 4, donde se tiene que de 120 documentos se tuvo una mediana de 33 documentos clasificados de los cuales 30 pertenecen al dominio y 3 fueron falsos positivos.

Por lo tanto, ante este escenario de pruebas se tiene una eficiencia del 100% en la clasificación ya que los 30 documentos que pertenecen al dominio fueron clasificados, pero con una probabilidad del 10% de ser falso positivo al clasificar 3 documentos erróneamente.

| Prueba | Documentos analizados | Documentos identificados | Falsos positivos | Total de documentos identificados |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 2      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 3      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 4      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 5      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 6      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 7      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 8      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 9      | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 10     | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |
| 11     | 120                   | 30                       | 3                | 33                                |

**Tabla 7** Resultados con el dominio Animales con el 5% del vector de frecuencias



**Gráfico 4** Estadísticas de los resultados con el dominio Animales con el 5% del vector de frecuencias

En la Tabla 8 se pueden observar los documentos que fueron falsos positivos en la clasificación, los dominios a los que pertenecen y la palabra contenida que provocó la clasificación falsa.

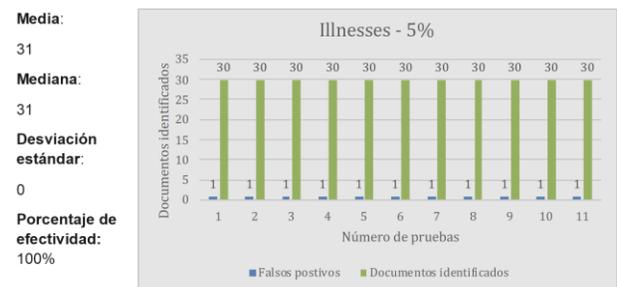
| Nombre del documento  | Dominio al que SI pertenece | Palabra dentro de la ontología Animales |
|---|-----------------------------|---|
| Are these bizarre music myths too good to be true_ - BBC Music  | Música                      | Animal                                  |
| Flowers Sweeten Up When They Sense Bees Buzzing _ Smart News _ Smithsonian                                      | Plantas                     | Bees                                    |
| Researchers Stabbed Slabs of Meat With Cacti Spines to Learn About Puncture Strength _ Smart News _ Smithsonian | Plantas                     | Animal                                  |

**Tabla 8** Descripción de documentos falsos positivos en el dominio de Animales con el 5% del vector de frecuencias

En el dominio de enfermedades con un porcentaje del 5% en el vector de frecuencia, los resultados se pueden observar en la Tabla 9 y en el Gráfico 5, donde se tiene que de 120 documentos se tuvo una mediana de 31 documentos clasificados de los cuales 30 pertenecen al dominio y 1 fue falso positivo. Por lo que, en este escenario de pruebas se tiene una eficiencia del 100% al clasificar los 30 documentos que pertenecen al dominio, sin embargo, se tiene una probabilidad del 3.33% de ser falso positivo al clasificar 1 documento erróneamente.

| Prueba | Documentos analizados | Documentos identificados | Falsos positivos | Total de documentos identificados |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 2      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 3      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 4      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 5      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 6      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 7      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 8      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 9      | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 10     | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |
| 11     | 120                   | 30                       | 1                | 31                                |

**Tabla 9** Resultados con el dominio Enfermedades con el 5% del vector de frecuencias



**Gráfico 5** Estadísticas de los resultados con el dominio Enfermedades con el 5% del vector de frecuencias

En la Tabla 10 se pueden observar los documentos que fueron falsos positivos en la clasificación, los dominios a los que pertenecen y la palabra contenida que provocó la clasificación falsa.

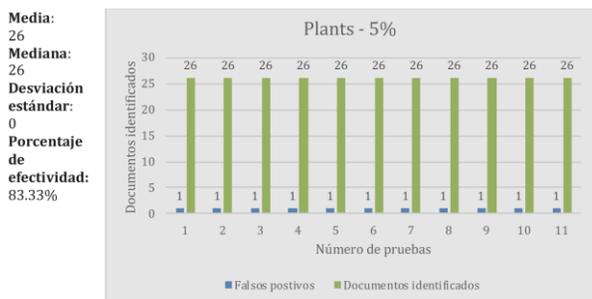
| Nombre del documento  | Dominio al que SI pertenece | Palabra dentro de la ontología Enfermedades |
|---|-----------------------------|---|
| An Economy in Need of Holistic Medicine - The New York Times. | Política                    | Symptoms Disease                            |

**Tabla 10** Descripción de documentos falsos positivos en el dominio de Enfermedades con el 5% del vector de frecuencias

En el dominio de plantas con un porcentaje del 5% en el vector de frecuencia, los resultados se pueden observar en la Tabla 11 y en el Gráfico 6, donde se tiene que de 120 documentos se tuvo una mediana de 26 documentos clasificados de los cuales 25 pertenecen al dominio y 1 fue falso positivo. Por lo tanto, ante este escenario de pruebas se tiene una eficiencia del 83.33% en la clasificación ya que de los 30 documentos que pertenecen al dominio 25 fueron clasificados, con una probabilidad del 3.33% de ser falso positivo al clasificar 1 documento erróneamente.

| Prueba | Documentos analizados | Documentos identificados | Falsos positivos | Total de documentos identificados |
|--------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 2      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 3      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 4      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 5      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 6      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 7      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 8      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 9      | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 10     | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |
| 11     | 120                   | 25                       | 1                | 26                                |

**Tabla 11** Resultados con el dominio Plantas con el 5% del vector de frecuencias



**Gráfico 6** Estadísticas de los resultados con el dominio Plantas con el 5% del vector de frecuencias

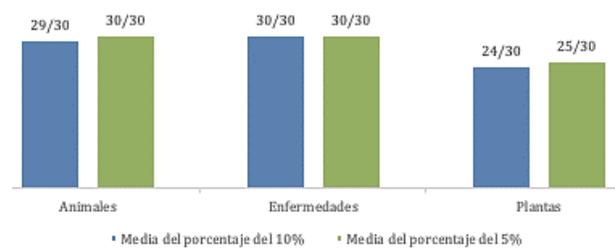
En la Tabla 12 se pueden observar los documentos que fueron falsos positivos en la clasificación, los dominios a los que pertenecen y la palabra contenida que provocó la clasificación falsa.

| Nombre del documento   | Dominio al que SI pertenece | Palabra dentro de la ontología Plantas |
|--|-----------------------------|--|
| Foxconn Reconsidering Plan for Wisconsin Factory - The New York Times. | Política                    | Plant                                  |

**Tabla 12** Descripción de documentos falsos positivos en el dominio de Plantas con el 5% del vector de frecuencias

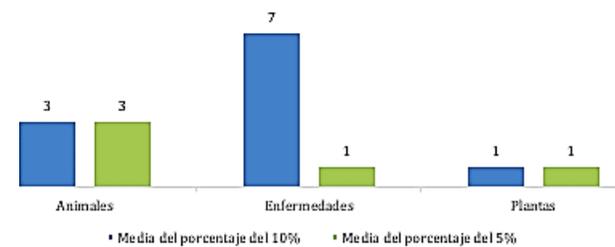
Al analizar los resultados de las ejecuciones en cada dominio se puede observar que existieron variaciones gracias a la variable del porcentaje en el vector de frecuencias y se puede concluir que el porcentaje del 5% es mejor ya que el vector de frecuencias contiene menos palabras que ayudan a tener una mejor clasificación al contener las palabras más significativas del documento y evitar aquellas que podrían provocar falsos positivos.

Para tener una mejor perspectiva sobre los resultados obtenidos, el Gráfico 7 muestra la comparación entre el porcentaje del 10% y 5% con respecto a los dominios utilizados.



**Gráfico 7** Resultados de los documentos clasificados por dominio y por porcentaje del vector de frecuencias

El Gráfico 8 también permite observar que el porcentaje del 5% del vector de frecuencias permite tener menos falsos positivos como se ve en el dominio Enfermedades, esto se debe a que al tener menos palabras tomadas del vector de frecuencias evita clasificaciones erróneas en el proceso.



**Gráfico 8** Resultados de los falsos positivos por dominio y por porcentaje del vector de frecuencias

Si se analiza el correcto funcionamiento demostrado por nuestra herramienta ante los trabajos mencionados anteriormente, se puede decir que la principal diferencia es el uso de ontologías de diferentes dominios para la clasificación lo que conlleva a que se puede clasificar documentos de texto en cualquier dominio del que trate la ontología y no solamente a uno como lo reportado en los trabajos citados.

## Conclusiones

El desarrollo de una herramienta que permita clasificar, en un dominio o tema, documentos de texto digitales en base a su contenido permite tener una mejor organización sobre éstos y de esta manera realizar búsquedas de información más rápidas al no tener que realizarlas en documentos que no tengan relación con el dominio o tema de la búsqueda. Otra ventaja que se tiene es que la clasificación se puede realizar bajo cualquier dominio o tema ya que solamente se requiere conseguir la ontología del dominio o tema en cuestión en formato OWL y agregarla a la herramienta. Por último, cabe mencionar que esta herramienta trabaja solamente en el idioma inglés ya que actualmente no se tiene ontologías en formato OWL en el idioma español.

## Trabajo a futuro

El trabajo que se tiene planeado realizar es el de mejorar la interfaz de usuario (UI) para hacer más intuitiva y agradable la herramienta.

## Referencias

Lopez Condori, R. (2014). *Método de Clasificación Automática en Textos basado en Palabras Claves utilizando Información Semántica: Aplicación a Historias Clínicas*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.

Berners-Lee, T., Fielding, R., & Frystyk, H. (1996). *Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.0*. United States: RFC Editor.

Gruber, T. (1995). Toward Principles of the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 43, 907-928.

Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software: un enfoque práctico*. México: McGraw Hill Education.

Python, S. C. (7 de septiembre de 2018). *StringTagger: Clasificador de Texto con Python*. Obtenido de Mi diario Python: <http://www.pythondiario.com/2018/02/stringtagger-clasificacion-de-texto-con.html?m=1>

Sanchez Vega, J. (2012). *Clasificación de texto mediante atributos probabilísticos de coocurrencia de palabras*. Sta. Ma. Tonantzintla: INAOE.

Specification, H. 4. (Diciembre de 1999). *HTML 4.01 Specification*. Obtenido de W3C: <https://www.w3.org/TR/html401/>

Wilks, Y., & Catizone, R. (2000). Can we make Information Extraction more adaptive? *Research and Development in Intelligent Systems XVI*.

**[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]**

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

*International Identification of Science – Techonology an Innovation.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>do</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2<sup>do</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

---

**Resumen (En Español, 150-200 palabras)**

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)**

**Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)**

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)**

---

**Citación:** Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Innovativa. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor

**Introducción**

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

**Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente**

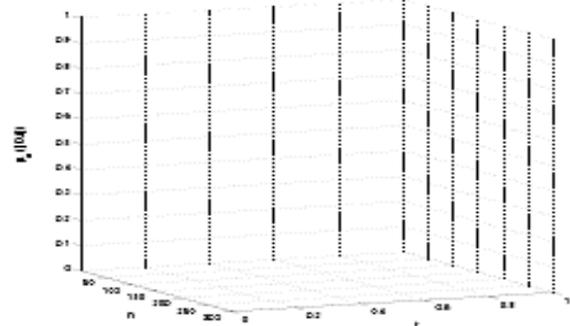
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

**Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables**

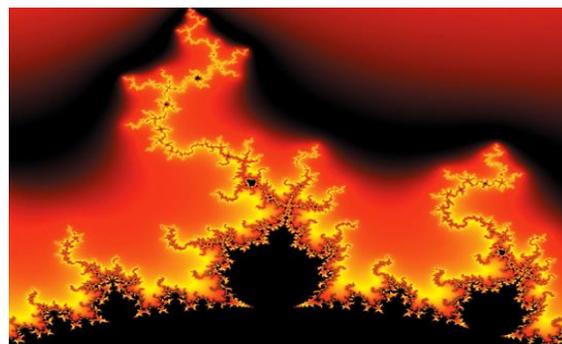
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]



**Gráfico 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

**Metodología a desarrollar**

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

**Resultados**

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

**Anexos**

Tablas y fuentes adecuadas.

## **Conclusiones**

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## **Referencias**

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

## **Ficha Técnica**

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## **Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:**

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

### **Reserva a la Política Editorial**

Revista de Ingeniería Innovativa se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

### **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

#### **Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Innovativa emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

## Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Innovativa, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

| Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores | Firma |
|---|-------|
| 1.  |       |
| 2.  |       |
| 3.  |       |
| 4.  |       |

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

#### **Política Editorial y Administración**

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Republic of Peru), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

**Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. [financingprograms@ecorfan.org](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

**Oficinas de Gestión**

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

# Revista de Ingeniería Innovativa

“Efecto del tipo de acero y su acabado superficial sobre la cinética de fosfatizado con manganeso”

**GÓMEZ-MACÍAS, Josué, CONEJO-FLORES, Ricardo, GARCÍA-GONZÁLEZ, Juan Manuel y FUENTES-ACEITUNO, Juan Carlos**

*Universidad Autónoma de Zacatecas*

*CINVESTAV-Saltillo*

“Gestión del mantenimiento y la industria 4.0”

**HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro**

*Universidad Tecnológica de Puebla*

“Control PID basado en odometría visual monocular a un vehículo de superficie marino”

**MENDOZA-RUIZ, Francisco, REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, ALAZKI, Hussain y RULLÁN-LARA, José Luis**

*Universidad Autónoma del Carmen*

“Evaluación de un clasificador de textos digitales basado en el contenido semántico a través de ontologías”

**HERNÁNDEZ-GARCÍA, Héctor Daniel, NAVARRETE-ARIAS, Dulce J., PÉREZ-BAUTISTA, Mario y PAREDES-REYES, Eliud**

*Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo*

